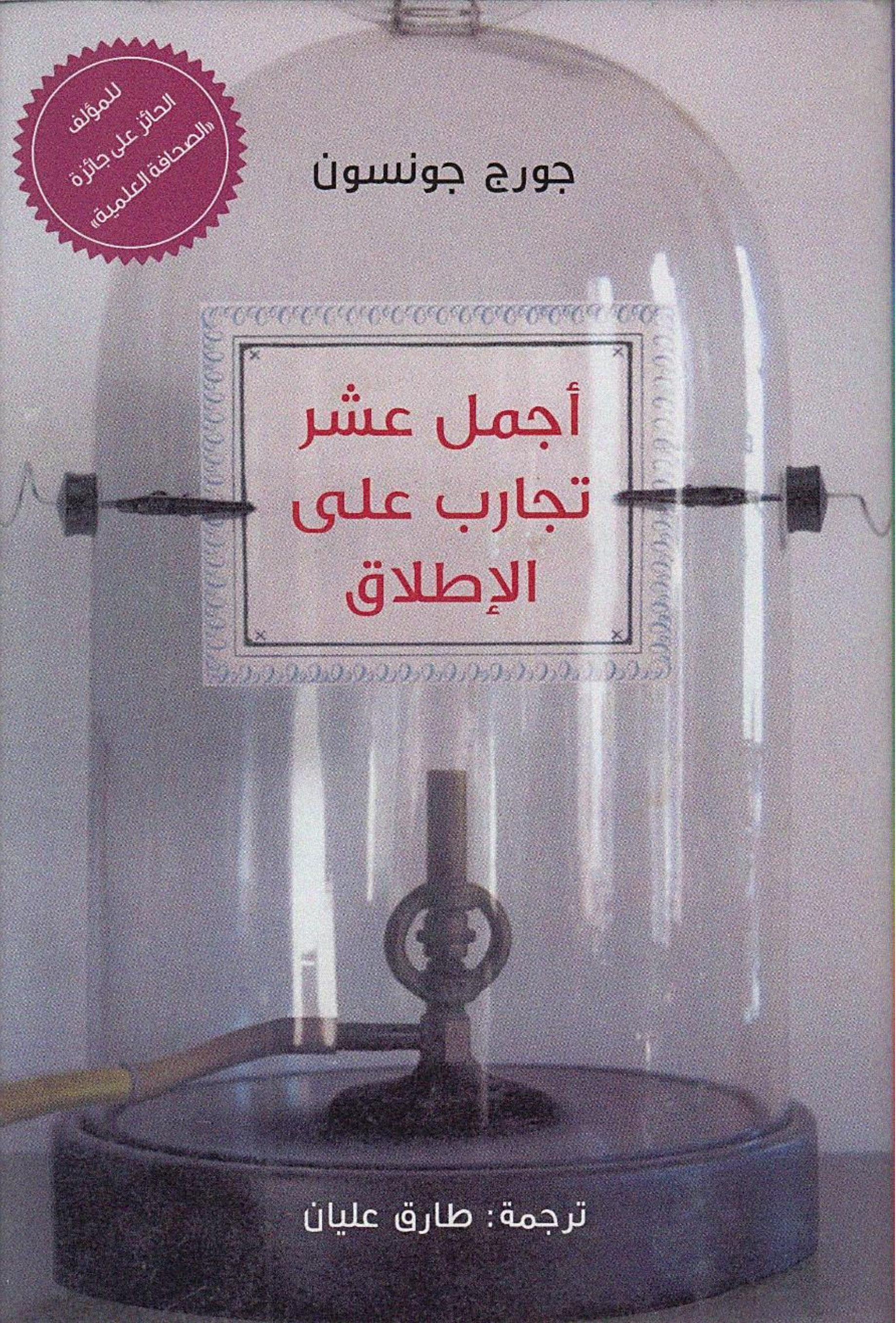

للمؤلف
الحائز على جائزة
«الصحافة العلمية»
جورج جونسون
أجمل عشر
تجارب على
الإطلاق
ترجمة: طارق عليان

جورج جونسون

أجمل عشر تجارب على الإطلاق

ترجمة : طارق عليان

مراجعة : عمر الأيوبي

الطبعة الأولى 1435هـ 2014م
حقوق الطبع محفوظة
© هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة مشروع «كلمة»

Q182.3 .J6512 2014
Johnson, George
[The Ten Most Beautiful Experiments]
أجمل عشر تجارب على الإطلاق/ جورج جونسون؛ ترجمة طارق عليان.–
أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2014.
ص. 257 ؛ 12,5×19 سم.
ترجمة كتاب : The Ten Most Beautiful Experiments.
تدمك: 4-314-17-9948-978
1– العلوم. 2– العلوم– تجارب. 3– العلوم– تاريخ.
أ– عليان، طارق.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنجليزي:
George Johnson
The Ten Most Beautiful Experiments
Copyright © 2008 by George Johnson
This translation published by arrangement with Alfred A. Knopf, an imprint of The Knopf Doubleday Group, a division of Random House, Inc.

كلمة KALIMA
www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 300 6215 2 971+ فاكس: 127 6433 2 971+

هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

أجمل عشر تجارب
على الإطلاق

كتب أخرى للمؤلف

Miss Leavitt's Stars: The Untold Story of the Woman Who Discovered How to Measure the Universe

نجوم الآنسة ليفيت: القصة المجهولة للمرأة التي اكتشفت كيفية قياس الكون

A Shortcut Through Time: The Path to the Quantum Computer

طريق مختصر عبر الزمن: السبيل إلى الكمبيوتر الكمّي

Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics

جمالٌ عجيب: موري جيل-مان والثورة في فيزياء القرن العشرين

Fire in the Mind: Science. Faith and the Search for Order

لهيب في العقل: العلم والإيمان والبحث عن النظام

In the Palaces of Memory: How We Build the Worlds inside Our Heads

في قصور الذاكرة: كي نبني عوالم داخل رؤوسنا

Machinery of the Mind: Inside the New Science of Artificial intelligence

آلية العقل: داخل علم الذكاء الاصطناعي الجديد

Architects of Fear: Conspiracy Theories and Paranoia in American Politics

مهندسو الخوف: نظريات المؤامرة وجنون الارتياب في السياسة الأمريكية

عندما تقدم العمر بألبرت أينشتاين وجلس ليكتب سيرة ذاتية قصيرة («شيء شبيه بنعيي»، كما وصفها)، تذكر اليوم الذي أراه فيه أبوه بوصلة. أخذ الصبي ينظر في عجب إلى الإبرة التي تشير بإصرار إلى الشمال وهو يحرك البوصلة ذات اليمين وذات اليسار. كتب أينشتاين: «ما زلت أذكر - أو أعتقد على الأقل أنني أذكر - أن هذه التجربة قد تركت لديَّ انطباعاً عميقاً ودائماً. فلا بد من وجود شيء دفين عميقاً وراء الأشياء».

المحتويات

مقدمة 9

1- جاليليو: كيف تتحرك الأشياء في الواقع 17

2- وليم هارفي: أسرار القلب........................ 35

3- إسحاق نيوتن: كُنْه اللون 53

4- أنطوان لوران لافوازييه: ابنة الملتزم 71

5- لويجي جالفاني: كهرباء الحيوان.................... 91

6- مايكل فاراداي: شيء دفين في العمق 111

7- جيمس جول: كيف يعمل العالم 129

8- ألبرت أبراهام مايكلسون: مفقود في الفضاء 151

9- إيفان بافلوف: قياس ما يتعذر قياسه.................. 173

10- روبرت ميليكان: في المنطقة الفاصلة................ 195

خاتمة: التجربة الحادية عشرة الأجمل 219

الحواشي وثبت المراجع 223

شكر وتقدير 255

مقدمة

في صبيحة أحد أيام الشتاء المشرقة منذ سنوات عدة، قدت سيارتي مُرتقياً التلَّ في طريقي إلى كلية سانت جونز (St. John's College) كي ألعب بالإلكترونات. كنت قد التقيت مؤخراً برئيس الكلية، التي تقع في منعزل رائع في خاصرة الجبل في سانتا فيه، وأثار إعجابي أن علمت أن الكلية تتوقّع من الطلاب، في إطار دراسة الإنسانيات، إعادة إجراء التجربة الشهيرة التي عزل فيها روبرت ميليكان (Robert Millikan) هذه الجسيمات الأساسية وقاسها، مُثبتاً أنها جزء من الكهرباء.

تنتهج كلية سانت جونز، مثلها في ذلك مثل شقيقتها في أنابوليس، منهجاً دراسيّاً كلاسيكيّاً، حيث يبدأ علم الفيزياء نحو سنة 600 ق.م بفلاسفة ما قبل سقراط. فذلك هو الوقت الذي قام فيه طاليس الملطي (Thales of Miletus) بأول محاولة للتوصل إلى النظرية الموحدة الكبرى، حين قال: «الماء أصل كل شيء». ولو كان معنا اليوم لعمل على الأرجح على الأوتار الفائقة.

كان طاليس قد لاحظ أيضاً أن صخرة تسمى المغنتيت توجد في إقليم مغنيسيا تمارس قوة جذب خفية على المعدن، وأن فرك قطعة

من الكهرمان (elektron باليونانية) يمنحها شحنة غامضة تجعلها تجتذب فتات القش والتِّبن. وبعد ذلك بأكثر من ألفي عام، نوَّه وليم جلبرت (William Gilbert)، طبيب الملكة إليزابيث الأولى، إلى أن فرك الزجاج بالحرير «يُكهرمه» أو يُكهربه (فكان بذلك أول من استخدم مصطلح يكهرب electrify)، وإلى إمكانية تنشيط مواد أخرى أيضاً على هذا النحو. افترض جلبرت أن الاحتكاك يسخِّن نوعاً من الخِلْط المائيّ فيُنتج «تدفقاً» بخاريّاً دبقاً من الشَّحْن. ثم جاء كيميائي فرنسي وهو شارل دو فاي (Charles François de Cisternay Dufay) ليكتشف أن الكهرمان المفروك ينفر الأشياء التي يجذبها الزجاج المفروك. وانتهى إلى ضرورة أن تكون الكهرباء على صورتين، راتينجية (resinous) وزجاجية (vitreous). لكنّ شيئاً عميق الخفاء يكمن وراء هذه الأشياء، وقد وجد ميليكان طريقة لفهمه.

وجدتُ معمل الفيزياء في الطابق التحتاني بمبنى من طابقين مقام على طراز نيو مكسيكو التقليدي في مقدمته شرفة بيضاء طويلة وتحيط به أشجار الصنوبر. لم يكن هناك حصّة دراسية، وكان شيش النوافذ مغلقاً والأضواء خافتة. في الجانب البعيد من الغرفة، كان مدير المعمل هانز فون بريسين (Hans von Briesen) يجمع مكوّنات إلكترونية على طاولة معملية خشبية. ومن العادات المتبعة في كلية سانت جونز استخدام الطلاب والأساتذة ألقاب

الاحترام عند مخاطبة بعضهم بعضاً (السيد فون بريسين، السيد جونسون)، وذلك على نحو يجعل أحاديث الدهاليز تبدو أشبه بصحيفة «نيويورك تايمز».

كانت فكرة تجربة ميليكان- كما أوضح لي السيد فون بريسين- تتمثل في استخدام رشاشة عطر لرش قطيرات صغيرة جدّاً من الزيت في حيِّز بين صفيحتين معدنيتين إحداهما مشحونة راتينجيّاً والأخرى زجاجيّاً. عندما تحتك القطيرات بالهواء، يتكهرب بعضها مثل كهرمان طاليس، وبتغيير الفُلطيّة بين الصفيحتين يمكن تحريك القطيرة إلى أعلى وإلى أسفل أو جعلها تحوم معلَّقةً في الهواء.

يمكنك من خلال كتلة القطيرة ومقدار الفلطية المطلوب لمنعها من السقوط أن تحدّد شحنتها. قِس ما يكفي من القطيرات وستدرك ما إذا كانت الشحنة كالموائع تتدفق بأية كمية مهما كانت، أو كالنقود في الجيب بكميات محددة. إذا كانت الشحنة كالنقود، فسيكون المقدار الأصغر هو الوحدة الأولية للكهرباء؛ أعني شحنة الإلكترون.

وعندما اكتمل التجهيز وعُتِّمت الغرفة، بدأت التجربة. وبعد محاولات عدة، دعاني السيد فون بريسين لإلقاء نظرة. حدَّقتُ في الحجرة من خلال عيْنيّة مكبِّرة (تلسكوب صغير) فرأيت القطيرات. كانت بفعل الإضاءة الموجودة من خلفها تتألق ككوكبة

أو مجرّة، وقد وصفها ميليكان نفسه هكذا، فقال: «هيئة هذه القطرة كهيئة نجم متألق».

أصبحت العلوم في القرن الحادي والعشرين ذات طابع صناعي، فالتجارب التي يُحتفى بها كثيراً في الصحف مثل (تحديد متواليات الجينوم، وإثبات وجود الكُوَارك العلوي، واكتشاف كوكب جديد بتحليل تذبذب نجم بعيد) تتكلف ملايين الدولارات، وتولِّد بيانات يقاس حجمها بالتيرابايت وتتولى تحليلها حواسيب فائقة أشبه بمصانع حاسبة تنبعث منها حرارة يحتاج تبريدها إلى أنظمة يستهلك الواحد منها ما تستهلكه بلدة صغيرة من الطاقة. وتُجرى التجارب على أيدي فرق بحثية نما حجمها حتى صار بحجم المؤسسات.

لكن معظم الاكتشافات العلمية العظيمة كانت حتى وقت قريب جداً تأتي على أيدي أشخاص فرادى، بواسطة عقلٍ فردٍ يواجه المجهول. فالتجارب العظمى التي تمثل مُنتهى ما وصلت إليه أفهامنا أُجريت في أغلب الأحوال على أيدي عالم واحد أو اثنين وعادة ما كان ذلك على سطح منضدة. كانت العمليات الحسابية- إن وجدت- تُجرى على الورق أو بواسطة المسطرة الحاسبة فيما بعد.

صُمِّمت هذه التجارب وأجريت بدقة تامة تجعلها جديرة بأن توصف بأنها رائعة. إنها الروعة بالمعنى الكلاسيكي، أي أن البساطةَ المنطقيةَ للتجهيزاتِ، كبساطة التحليل المنطقية، تبدو متجانسة

ومتوقّعة كخطوط تمثال إغريقي. وفي لحظة واحدة يُزاح التشوش والالتباس جانباً، ويقفز إلى المشهد شيء جديد عن الطبيعة.

وباعتباري كاتباً علمياً، غالباً ما شدّتني الصروح الشاهقة كميكانيكا الكم أو النسبية العامة، اللتين تسعيان إلى تصوير الواقع ببضعة قوانين منمَّقة. ولكي يعرف المرء مدى تحول هذا المطلب إلى مطلب مجرد، لا يحتاج إلى النظر أبعد من نظرية الأوتار الفائقة، التي تفترض أن المادة تولَّد في النهاية بواسطة معادلات رياضية تتذبذب في فضاء عُشاري الأبعاد. هذا كلام جذاب، لكنني أجده مُربكاً ولا يفهمه إلا الخاصَّة (وهو يفوق كثيراً قدرتي وربما قدرة أي شخص على استيعابه) حتى أنني بدأت ألمس حاجة إلى الأساسيات.

أجرت مجلة «فيزكس وورلد» (*Physics World*) ذات يوم استقصاء سألت فيه قراءها عما يعتبرونه الأروع من بين كل التجارب، ثم أعدَّت استناداً إلى النتائج قائمة بالتجارب العشر الأولى، وجاءت كلها في مجال الفيزياء كما هو متوقع. فتساءلت ماذا لو وسَّع المرء النطاق؟ وقررت أن أضع قائمتي الخاصة.

كان السؤال من أين أبدأ؛ هل أبدأ بطاليس وفركه الكهرمان لإنتاج كهرباء ساكنة؟ هذا شيء يفتقر إلى الدقة التي كنت أبحث عنها، إذْ لم تكن هناك ضوابط ولا محاولة منهجية لمعرفة أي المواد يمكن شحنها بهذه الطريقة وتحت أي ظروف، زد على ذلك أن الكهرمان لم يكن يتميز بشيء فريد كما أظهر جلبرت. العلم

التجريبي لم يكن قد بدأ بعد عندما أجرى طاليس تجربته.

ماذا عن فيثاغورس (Pythagoras)- وهو أيضاً ممن جاؤوا قبل سقراط- الذي اكتشف أن النغمات الموسيقية التي تنطلق عند النقر على وتر تقابل نسباً رياضية دقيقة؟ إذا كان الوتر بأكمله يصدر صوت C كاملاً، فإن ثلاثة أرباعه تصدر F، وثلثيه يصدران G. ثم انقر الوتر عند منتصفه وسيصدر C مرة أخرى، أي أعلى بمقدار جواب (أوكتاف). ولقد أعلن فيثاغورس أن كل الأشياء أرقام، وهكذا جاء بنظرية موحّدة كبرى أخرى. كان عليه أن يتوقف في الذروة، لكنه لم يفعل، وراح يفترض أن النار تتكون من أربعة وعشرين مثلثاً قائم الزاوية تحيط بها أربعة مثلثات متساوية الأضلاع تتكون بدورها من ستة مثلثات. والهواء يتألف من ثمانية وأربعين مثلثاً، والماء من مئة وعشرين مثلثاً. لقد رضخت التجربة للروحانيات.

ربما كان أرشميدس (Archimedes) مرشحاً آخر، وإن كانت الأسطورة المشكوك في صحتها التي تتحدث عن قفزه من حوض استحمام وهو يصيح «وجدتها»، بعد أن اكتشف قانون الطفو الفيزيائي، تُقلِّل من عظمة إنجازه. فرسالته «الأجسام الطافية» (*On Floating Bodies*) تعدُّ إحدى روائع الاستدلال الرياضي لا لمجرد استنباطها مبدأ أرشميدس القائل: «الجسم الغاطس في سائل يُدفع إلى الأعلى بقوة تساوي وزن السائل المزاح». كما أنه توصل من خلال المبادئ الأولى إلى كيف أن الجسم مخروطي الشكل، المسمى

الجسم المكافئ الدوراني، سيطفو إذا غمس في الماء (الجبال الجليدية تقارب في شكلها الجسم المكافئ الدوراني وتتصرف إلى حد كبير كما قال أرشميدس).

لكن عظمة أرشميدس تكمن في الاستدلال أكثر مما تكمن في التجربة، إنه عظيم آخر من عظماء وضع النظريات. وما كنت أبحث عنه هو تلك اللحظات النادرة التي توصلت فيها نفسٌ مُحبّة للاستطلاع- باستخدام المواد المتاحة- إلى طريقة لطرح سؤال على الكون وثابرت حتى أجابها عنه. والأمثل أن يكون الجهاز نفسه شيئاً رائعاً يتكون من خشب مصقول ونحاس أصفر وإبونيت أسود لامع. والأهم من ذلك كله روعة التصميم والتنفيذ واستقامة خطوط التفكير.

لهذا كان لا بد أن أقفز من اليونان القديمة دفعةً واحدةً إلى القرن السابع عشر، عندما توصل رجل يُدعى جاليليو إلى قانون أساسي من قوانين الحركة. ومن هناك تقدمت خطوة خطوة، متوقفاً في تسع محطات أخرى على الدرب العلمي، لألتقي مرة أخرى بميليكان ونجومه بالغة الصغر.

الاحتمال الأرجح أن أيّاً ممن يقرأ هذا الكتاب يمكنه الإتيان بقائمة مختلفة. وقد اعترض عليَّ أحد الأصدقاء بقوله: «ألا ينبغي أن تكتفي بتسميته عشر تجارب رائعة؟» ولعله على صواب. لكنني آمل أن يكون في العشوائية فنّ؛ في اختياري التجارب وفيما اخترت

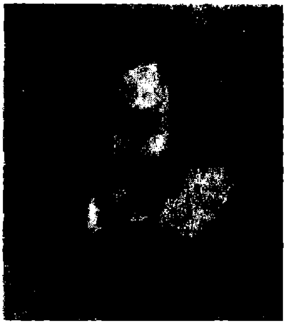
قوله عن كل تجربة. فليس هذا كتاباً عن الاكتشافات العظمى ولا عن المفاجآت العرضية كرصد جاليليو الأقمار التي تدور حول المشتري أو ملاحظات تشارلز داروين (Charles Darwin) حول طيور الحسُّون. فلم تكن هذه الأشياء تمثل النوع الذي أردت استكشافه من استجوابات الواقع المتأنية الدقيقة، ولا أنا قصدت بهذا الكتاب أن يكون مجموعة من السِّيَر العلمية المختصرة؛ فهناك بالفعل كثير من الأعمال الجيدة من هذا القبيل. فبعض الترجمات، كترجمة حياة أنطوان لوران لافوازييه وألبرت مايكلسون، سلّتني بتفاصيلها الغريبة. وهناك ترجمات أخرى، كترجمة حياة جاليليو ونيوتن، رُويت مرات كثيرة جدّاً من قبل. لقد حاولت رسم صورة موجزة لكل عالم، فأنا أريد أن تكون التجربة، لا المجرِّب، هي البطل.

ولكي أجعل القصص موجزة ومركّزة قدر المستطاع، لم أحاول كثيراً توزيع الفضل على أصحابه والخوض في معارك المؤرخين. فقد سبق روبرت ماير (Robert Mayer) جيمس جول (James Joule) في اكتشافه المدهش عن الطاقة والحرارة، لكن جول هو من أجرى التجربة الرائعة. ويروقني هنا ما قاله اللورد كلفن (Kelvin) عن ذلك: «المسائل ذات الصلة بالأسبقية الشخصية، مهما بدت مثيرة للاهتمام للأشخاص المعنيين، تفقد أهميتها في ظل احتمال اكتساب درجة أكبر من القدرة على سبر أغوار أسرار الطبيعة».

الفصل الأول

جاليليو

كيف تتحرك الأشياء في الواقع



جاليليو جاليلي (Galileo Galilei)
لأوتافيو ليوني (Ottavio Leoni)

إن من البغيض والمزعج جدّاً أن ترى رجالاً، ممن يزعمون أنهم أنداد لأي شخص في أحد مجالات الدراسة، يسلّمون باستنتاجات معينة ثم يأتي آخر فيُثبت بسرعة ويُسر أنهم على خطأ.

- سالفياتي في «علمان جديدان» لجاليليو

(Galileo. *Two New Sciences*)

عندما تلقي بصخرة أو تلتقط كرة أو تقفز بقوة كافية لتخطّي عقبة ما، فإن الجزء القديم غير الواعي من المخ، وأقصد المُخيخ، يكشف عن فهم عفوي لقانوني الحركة الأساسيين (القوة تساوي حاصل ضرب الكتلة فى العجلة، ولكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه)، لكن هذه الفيزياء الثابتة بمنأى تماماً عن الجزء العلوي الجديد من الدماغ، أقصد المخ، مستقر الذكاء ووعي الذات. فالمرء يستطيع القفز برشاقة الهرّ، لكنه يعجز عن تفسير قانون التربيع العكسيّ للجاذبية.

في القرن الرابع قبل الميلاد، قام أرسطو بأول محاولة طموح لبيان قواعد الحركة. فالجسم يسقط بسرعة تتناسب مع ثقله، أي إنه كلما كانت الصخرة أثقل قلّ زمن وصولها إلى الأرض. أما بالنسبة للأنواع الأخرى من الحركة (كدفع كتاب إلى الناحية الأخرى من المنضدة أو دفع محراث عبر الحقل)، فيجب بذل قوة باستمرار، وكلما ازدادت شدة الدفع، ازدادت سرعة تحرك الجسم، وإذا ما توقّفت عن الدفع توقّف الجسم.

يبدو هذا معقولاً وبدهياً تماماً، وهو بالطبع خطأ محض.

فماذا لو وضعت الكتاب على صفحة من الجليد وأعطيته دفعة؟ سيظل الجسم يتحرك طويلاً بعد زوال الزّخم (عندما سُئل أتباع أرسطو عمّ يُبقي السهم متحركاً بعد فراقه القوس، أجابوا بأن الهواء المتدفق هو ما يدفعه إلى الأمام). ونحن نعرف الآن أن أي

شيء يُحرَّك يبقى متحركاً حتى يوقفه شيء آخر أو ينهكه الاحتكاك، وأن ثقلاً زنته رطل وثقلاً زنته 5 أرطال سيحطان على الأرض معاً إذا ما أسقطا في وقت واحد. إنه جاليليو مَن أثبت ذلك.

إن من المتوقع تماماً أن يأتي يوم يُثبت فيه أحدهم خطأ هذا العالِم العظيم الذي أثبت خطأ أرسطو ومجّدته مسرحية لبيرتولت برِخت (Bertolt Brecht)، وأوبرا لفيليب جلاس (Philip Glass)، وأغنية شعبية لفرقة إنديجو جيرلز (Indigo Girls)، إذ يقول المؤرخون إنه من غير المؤكد أن جاليليو أسقط ثقلين من برج بيزا المائل، ولا يصدقون أنه توصل إلى اكتشافه بشأن البندول (وهو أن كل اهتزاز يستغرق مدة متساوية) أثناء مشاهدته قنديلاً مُعيناً في كاتدرائية بيزا وتوقيت حركته بنبضات قلبه.

زد على ذلك أن مؤهلاته باعتباره عالِم كونيات (cosmologist) تضاءلت بالتمحيص الدقيق. لقد كان جاليليو أفصح المدافعين عن الفرضية الكوبرنيكية القائلة بمركزية الشمس في النظام الشمسي، ويعدّ كتابه «حوار حول النظامين الرئيسين للكون» (*Dialogue Concerning the two Chief World Systems*) أول عمل عظيم من الأعمال العلمية الشعبية، غير أنه لم يقبل أبداً رأي كبلر (Kepler) المتبصر بالغ الأهمية بأن الكواكب تدور في مدارات إهليلجية، حيث كان يَفترض ضرورة أن تكون المدارات دوائر تامة، قائلاً في هذا بقول أرسطو الذي أعلن أن الحركة السماوية دائرية بالضرورة

وإن كان لا بد للحركة على الأرض (في العالم ما تحت القمري) أن تكون لها بداية ونهاية.

لكي يصْدق ذلك القول ويتطابق مع ما كان يحدث في السماء، لم يكن من الواجب أن أن تسير الكواكب في دوائر فحسب، بل في دوائر داخل دوائر، وهي ذاتها أفلاك التدوير القديمة التي قال بها النظام البطلمي الذي يجعل من الأرض مركز الكون. لقد صرف جاليليو نظره تماماً عن هذه المشكلة، وما يمكن أن يكون مخيباً للآمال أكثر مما عداه أن جاليليو ربما لم يُتبع اعتذاره الذي أجبرته عليه محكمة التفتيش بروما متمتماً- كما تقول الأسطورة- في هدوء: «ومع ذلك فهي تدور». إنه لم يكن شهيداً. وعندما أدرك هزيمته، اعتزل الناس إلى منطقة أرسيتري ليلعق جراحه.

تكمن أقوى مدعاة لعظمة جاليليو في العمل الذي قام به قبل معاناته مع الفاتيكان بزمن طويل. لم يكن يدرس شيئاً ضخماً كالنجوم أو الكواكب، بل حركة أشياء عادية بسيطة، وهو موضوع أكثر إثارة للحيرة بكثير مما كان يتخيل أي شخص.

لا يهمّنا كثيراً ما إذا كانت بحوثه قد بدأت فعلاً عند برج بيزا أو لا. فقد وصف تجربة مماثلة في رائعته الأخرى «محاورات حول علمين جديدين» (*Discourses Concerning Two New Sciences*) التي أتمها في سني عمره الأخيرة في منفاه، وجاءت -كحال كتابه السابق- على هيئة حوار طويل بين ثلاثة نبلاء إيطاليين (سالفياتي

وساجريدو وسمبليتشيو) يحاولون فهم كيفية سير العالم.

يجسد سالفياتي شخصية جاليليو، وفي اليوم الأول من الاجتماع يؤكد أنه لو أُسقطت كرة مدفع زنة 100 رطل وكرة بندقية زنة رطل واحد في وقت واحد فستحطان على الأرض في وقت واحد تقريباً، ويقرّ بأن الجسم الأثقل، في إحدى التجارب، سبق الآخر في السقوط على الأرض في واقع الأمر أسرع بمقدار «عرض إصبعين»، لكنه أدرك أن هناك عوامل أخرى، كمقاومة الهواء، قد شوشت النتائج. لقد كانت النقطة المهمة تكمن في أن الارتطامين كانا متزامنين تقريباً، فعندما ارتطمت كرة المدفع بالأرض، لم كرة البندقية قد قطعت سوى $\frac{1}{100}$ (ذراع واحد) من المسافة فقط كما كان سيتنبأ المنطق السليم. ثم قال موبخاً: «الآن لا يمكنكم إخفاء أذرع أرسطو التسعة والتسعين وراء هذين الإصبعين، ولا أن تذكروا خطأي الصغير وتتغاضوا في الوقت نفسه عن خطأي الكبير جداً». فسرعة سقوط الجسم لا تتأثر بثقله عند تساوي جميع العوامل الأخرى.

وكان هناك سؤال أصعب مفاده: ماذا حدث بين وقت إسقاط الكرة ووقت ارتطامها بالأرض؟ لا بدّ أنها ستتسارع طوال الطريق، والكل كان يعرف ذلك. لكن كيف؟ وهل كانت هناك طفرة حركة كبيرة في البداية أو كان هناك الكثير من الطفرات الصغيرة المتواصلة طوال الطريق إلى الأرض؟

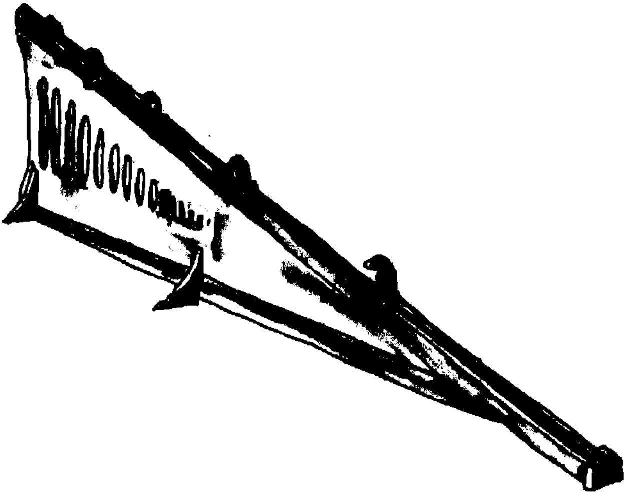
وفي ظل انعدام وسائل من قبيل التصوير الفوتوغرافي البطيء أو أدوات الاستشعار الإلكترونية لتوقيت الجسم الساقط، كان كل ما يستطيعه المرء هو التكهن. فما كان يحتاجه جاليليو هو تجربة مكافئة، تجربة يكون فيها السقوط أبطأ ومشاهدته أسهل، أيْ كرة تتدحرج على سطح مستوٍ أملس مائل قليلاً. وما كان يصْدق على حركتها ينبغي أن يصدق على منحدر أكثر ميلاً، وكذلك على المنحدر الأشدّ ميلاً على الإطلاق وهو السقوط العمودي. لقد وجد طريقة لطرح السؤال.

ربما كان ذلك عام 1604. وبعد ثلاثة عقود، وصف جاليليو - أو بالأحرى سالفياتي - جوهر التجربة:

> أخذنا قطعة من قالب خشبي أو قدّة خشبية طولها نحو 12 ذراعاً وعرضها نصف ذراع وسمكها ثلاثة أصابع، وحفرنا على حرفها مجرى يزيد عرضه قليلاً على الإصبع. وبعد أن جعلنا هذا المجرى مستقيماً وأملسَ ومصقولاً، وبطّنّاه بجلد رقيق أملس وصقيل قدر المستطاع، دحرجنا فيه كرة برونزية قاسية ملساء شديدة الاستدارة.

القدّة قطعة من الخشب، وكان الذراع الفلورنسي 20 بوصة، وهكذا يمكننا أن نتصور جاليليو ومعه لوح طوله 20 قدماً وعرضه 10 بوصات يسنده في وضع مائل.

بعد أن وضعنا هذا اللوح في وضع مائل، برفع أحد طرفيه بمقدار ذراع أو اثنين عن الآخر، دحرجنا الكرة- كما كنت أقول توّاً- في المجرى، راصدين -على نحو سنبينه حالاً- الوقت الذي يستغرقه نزولها. وقد كررنا هذه التجربة أكثر من مرة كي نقيس الوقت بدقة بحيث لا يتجاوز الفارق بين أي عمليتي رصد عُشر نبضة أبداً.



بيان عملي لتجربة السطح المائل يعود لأوائل القرن التاسع عشر، حيث تتسبب الكرة المتدحرجة في قرع الجرس.
رسم: أليسون كنت (Alison Kent)

وأوضح سالفياتي أنهم بعد أن أتقنوا هذه الطريقة وأتمّوها، حتى قاموا بتوقيت الزمن الذي تستغرقه الكرة لاجتياز ربع

المسار ثم ثلثيه ثم ثلاثة أرباعه. ثم كرروا التجربة مع وضع اللوح بانحدارات مختلفة، بإجمالي مئة عملية قياس، وسجلوا هذه القياسات بجهاز بسيط يسمى الساعة المائية، وهو في جوهره عبارة عن ساعة رملية تقسّم الثواني بالماء بدلاً من الرمل:

> استخدمنا وعاء ماء كبيراً موضوعاً في مكان مرتفع ملحوم في قعره أنبوب قطره صغير ينبجس منه سيل مياه دقيق كنا نقوم بجمعه في كوب صغير أثناء الزمن الذي يستغرقه كل نزول، سواء بطول المجرى بأكمله أو جزء منه. وكنا، بعد كل نزول، نزِن الماء الذي جمعناه بهذه الطريقة بميزان شديد الدقة، حيث أعطتنا نسبُ هذه الأوزان والفوارق بينها نسبَ الأزمنة والفوارق بينها، وذلك على نحو شديد الدقة حتى إنه على الرغم من تكرار العملية مرات ومرات كثيرة، لم يكن هناك تباين يُذكر في النتائج.

كان وزن المياه يساوي الزمن المنقضي. إنها تجربة مبدعة، ولعلها أكثر إبداعاً من أن تُصدَّق، كما استنتج بعض المؤرخين المحدثين. فعندما قرأ الأستاذ بجامعة السوربون ألكسندر كُويْريه (Alexandre Koyré) كلمات جاليليو بعد نحو ثلاثة قرون، كاد لا يستطيع احتواء سخريته:

> كرة برونزية تتدحرج في أخدود خشبي «أملس

> ومصقول»! وعاء ماء ذو ثقب صغير يسيل منه الماء فيجمعه المرء في كوب صغير لكي يزنه فيما بعد وبهذا يقيس أزمنة السقوط... يا له من تجمّع لمصادر الخطأ وعدم الدقة! ويتضح من ذلك أن تجارب جاليليو عديمة القيمة تماماً.

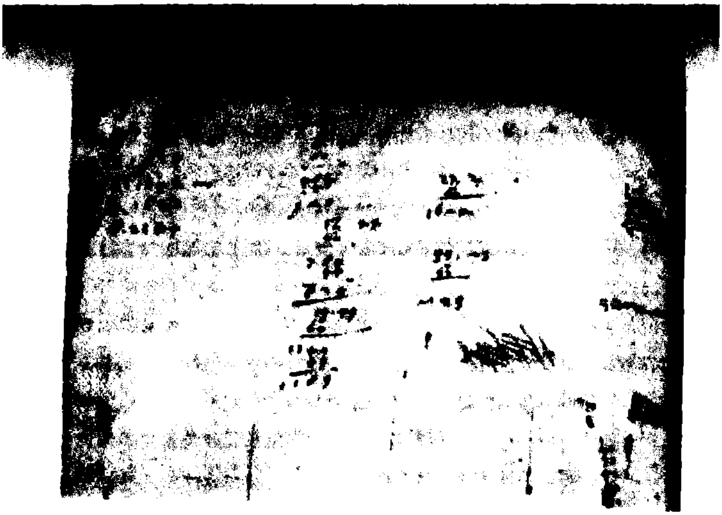
أبدى كويري شكوكه في أن تجربة كهذه لم تُجرَ في الأساس، وأن جاليليو كان يستخدم برهاناً وهميّاً بِكُرات متدحرجة بمثابة وسيلة تعليمية، وذلك لإيضاح قانون فيزيائي كان قد توصل إليه رياضيّاً من خلال الاستنباط المحض بالأسلوب القديم. وبدا أن زيف جاليليو افتُضح مرة أخرى.

كان كويريه يكتب ذلك في عام 1953. وبعد ذلك بعشرين سنة كان ستيلمان دريك (Stillman Drake)، أحد كبار الخبراء في علم جاليليو، يفتش بين المخطوطات في المكتبة الوطنية المركزية في فلورنسا فعثر مصادفة على بعض الصفحات غير المنشورة، وكانت قيود من دفتر ملحوظات جاليليو.

كان جاليليو ممن يحرصون على الاحتفاظ بالأشياء، وعندما نشرت دفاتر ملحوظاته قرب نهاية القرن العشرين، أسقط محررها أنطونيو فافارو (Antonio Favaro) بعض الصفحات التي لم تَبْدُ له أكثر من مجرد خربشات، أو فوضى من العمليات الحسابية والرسوم غير المفهومة. لم تكن الصفحات مرتبة في الظاهر، ولا

توجد إلا معلومات قليلة عن توقيت كتابتها أو ما الذي كان يشغل بال كاتبها وقت كتابتها.

كان دريك يجري بحوثه لوضع ترجمة إنجليزية جديدة لكتاب «علمان جديدان»، فمكث في فلورنسا ثلاثة أشهر في مطلع سنة 1972 يمحص 160 صفحة من المجلد الثاني والسبعين من أوراق جاليليو، ويقارن بين العلامات المائية وأساليب الكتابة اليدوية، ويعيد ترتيب الصفحات وفق ما بدا له ترتيباً منطقيّاً. وكان بين أولاها ما يبدو أنه بيانات مستمدة من تجربة عام 1604 عندما كان جاليليو في بادوا.



صفحة من دفتر ملحوظات جاليليو

أعاد دريك، مستعيناً بهذه المذكرات المختصرة، تكوين التجربة التي مضت عليها قرون، ويمكننا هنا، بقليل من المبالغة، أن نتخيل ما كان يدور في عقل جاليليو. فهو يحرر الكرة عند قمة المنحدر الخشبي منوّهاً إلى أنها في اللحظات القليلة الأولى تقطع مسافة 33 نقطة (كان جاليليو يستخدم مسطرة مقسمة إلى ستين وحدة متساوية، واستنتج دريك أن النقطة أقل من المليمتر بقليل). وبعد مرور فترة زمنية مساوية، تقطع الكرة المتسارعة مسافة مجموعها 130 نقطة، وبنهاية الفترة الثالثة تكون قد قطعت 298 نقطة، ثم 526 ثم 824 ثم 1192 ثم 1620... وهكذا أسرع وأسرع. كانت هذه البيانات حقيقية. أما بالنسبة للمسافة الأخيرة، والتي كان ينبغي أن تقطعها الكرة بأقصى سرعة، كان جاليليو قد كتب في الأصل 2123 نقطة وقد محا الرقم بشطبه وجعله 2104. وقد وضع علامة «موجب» أو «سالب» بجوار بعض أرقامه، مبيناً، فيما يظهر، متى كانت قياساته تبدو مرتفعة أو منخفضة.

لا تهمّ الوحدات الزمنية التي كان يستخدمها (ويمكننا أيضاً أن نطلق عليها تسمية تكّات)، وإنما المهم أن تكون الفترات كلها متساوية.

1	2	3	4	5	6	7	8	تَكّة (الزمن)
33	130	298	526	824	1192	1620	2104	نقطة (المسافة التراكمية)

في البداية لا يبرز نمط معين. فمع كل تكّة، تقطع الكرة مسافة أطول، لكن وفق أية قاعدة؟ بدأ جاليليو يتلاعب بالأرقام. فربما كانت السرعة تزداد وفق متوالية حسابية ما. فماذا عن مبادلة الأرقام الفردية: 1، 5، 9، 13، 17، 21... ؟ عند التكة الثانية، ستتحرك الكرة بسرعة تبلغ خمسة أضعاف سرعتها عند التكة الأولى، فتقطع 5 × 33 أو 165 نقطة. إنها سرعة أعلى مما ينبغي، لكنها ربما تكون في حدود الخطأ التجريبي. أما المسافة المقطوعة عند التكة الثانية فستكون أكبر بتسعة أضعاف: 33 × 9 = 297 نقطة. بالضبط! وعند التكة الرابعة 13 × 33 = 429. وهي أقل مما ينبغي. ثم 17 × 33 = 561، وهي أعلى مما ينبغي. ثم 21 × 33 = 693، وهي أقل مما ينبغي بكثير.... وقد رأى دريك في صفحة المخطوطة المواضع التي شطب فيها جاليليو الأرقام ليحاول من جديد.

عند التكة الأولى قطعت الكرة 33 نقطة، ثم 130. فماذا لو قسمت الرقمين؟ 130 ÷ 33 = 3,9، أي أن المسافة ازدادت نحو 4 أضعاف. وعند التكة الثالثة، كانت الزيادة 298 ÷ 33، أي أكثر من تسعة أضعاف المسافة الأولية بقليل. ثم 9 ,15، 0 ,25، 1 ,36، 1 ,49، 8 ,63. دوّر جاليليو الأرقام ودونها في عمود مستخدماً حبراً وقلماً مختلفين، فكانت النتيجة: 4، 9، 16، 25، 36، 49، 64.

لقد وجد المفتاح، وهو أن المسافة المقطوعة تزداد بمقدار مربع الزمن المستغرَق، مع أخذ القليل من الخطأ في الاعتبار. وباستخدام

لوح أطول، كان يمكن للمرء أن يتنبأ واثقاً بأن العامل عند التكة التالية سيكون 81 (9^2) ثم 100، 121، 144، 169.... ولكن عدم دقة أرقام جاليليو تثبت واقعية التجربة. ولأنها قريبة من الدقة على ذلك النحو فقد أثبت مهارته كمجرّب.

المسافات في هذه الحسابات تراكمية، فبحلول التكة الرابعة قطعت الكرة ما مجموعه 16 ضعف المسافة التي قطعتها في نهاية التكة الأولى. لكن ما المسافة التي تقطعها خلال كل فترة على حدة، بين التكتين الثالثة والرابعة مقارنة بالتكتين الثانية والثالثة؟ يمكن تأييد الإجابة بالرياضيات.

إن من طبيعة المربعات أنها مجاميع الأرقام الفردية التي تسبقها، وهكذا فإن: 4 = 1 + 3، و9 = 1 + 3 + 5، و16 = 1 + 3 + 5 + 7. ومفهوم ضمناً في قانون مربع الزمن أن المسافات بين التكات يجب أن تزداد وفقاً لمتوالية الأعداد الفردية. وتظهر بيانات جاليليو كيف يسير هذا.

تكة (الزمن)	1	2	3	4	...5
نقطة (المسافة التراكمية)	33	130	298	526	...824
	33–130	130–298	298–526	526–824	
نقطة (المسافة المقطوعة في فترة واحدة)	97	168	228	298	

نسبة المسافات	33÷298	33÷228	33÷168	33÷79
	9,0	6,9	5,1	2,9

وتكة تلو أخرى، تقطع الكرة ثلاثة أضعاف المسافة، ثم خمسة أضعاف المسافة، ثم سبعة أضعاف المسافة، ثم تسعة أضعاف المسافة. والواقع أنه كان في وسع جاليليو البدء بمتوالية الأعداد الفردية واستنتاج علاقة مربع الزمن. لكنه فعلها وكانت النتيجة قانوناً أساسيّاً جديداً. فكلما كان المنحدر شديد الانحدار تدحرجت الكرة أسرع، لكن مع الالتزام بالقاعدة ذاتها دائماً، وهي القاعدة التي يفترض أن تصحّ إذا كان المنحدر بزاوية 90 درجة، أي عموديّاً.

وفي الطرف الآخر، أي عند استخدام منحدر بزاوية صفر درجة، لن تكون هناك عجلة، وما إن تصل الكرة الهابطة على المنحدر إلى سطح الطاولة المستوي، فستبدأ في التحرك بسرعة منتظمة، وتظل هكذا إلى الأبد إذا كان السطح المستوي لانهائياً ولم يتدخل الاحتكاك. وإذا ما بلغت الكرة المتحركة حرف الطاولة وسقطت؟ يقدم جاليليو الإجابة في اليوم الرابع المظفّر في «علمان جديدان»، وهي أن الحركة الأفقية الوئيدة والحركة العمودية المتسارعة نزولاً تجتمعان لتتمخضا عن الشكل المكافئي المألوف لمسار المقذوفات.

كان السؤال عن كيفية قياس جاليليو الزمن بمثل هذه الدقة لا

يزال قائماً، خصوصاً أنه يستخدم أوقاتاً تقل عن الثانية. باستخدام أصيص زهر بمثابة ساعة مائية، دحرج توماس سيتل (Thomas B. Settle)، طالب الدراسات العليا بجامعة كورنِل، كرات بلياردو على لوح صنوبر بعرض 5,5 بوصة وسمك 1,5 بوصة، وبمجرد أن ضبط استجاباته اللاإرادية، برهن على صحة قانون مربع الزمن. لكنه هو ودريك شكّكا في قدرة شخص يبدأ التجربة دون علم مسبق على اكتشاف العلاقة بجهاز بدائي جداً. وقد أشار دريك إلى أن طريقة جاليليو كانت أكثر ذكاءً وإدهاشاً.

تبيّن له أن جاليليو لم يكن مضطراً لقياس الزمن بالطريقة الحديثة، أي بالثواني أو أنصاف الثواني أو أي قياس تقليدي آخر، وكل ما كان مطلوباً هو طريقة لتقسيم الوقت إلى أجزاء متساوية، وهذه- كما أقرّ دريك- موهبة يُحبى بها طبيعيّاً أي موسيقار جيد.

كتب دريك: «إن قائد الأوركسترا، بتحريكه عصاه، يقسم الوقت بالتساوي بدقة فائقة على مدى فترات طويلة دون تفكير في ثوانٍ أو أي وحدة معيارية أخرى. فهو يحافظ على نبر منتظم معين وفق إيقاع داخلي، ويمكنه قسمة النبر نصفين مرة بعد مرة بدقة يباري فيها أي آلة ميكانيكية». والشيء نفسه ينطبق على الموسيقيين بل وعلى الجمهور. «فإذا فوّت عازف الصّنج دخوله بمقدار جزء صغير جداً من الثانية، ولنقل بمقدار $\frac{1}{64}$ من النوتة في اللحن، فسيلاحظ الجميع ذلك، لا القائد وحده».

وهكذا خمّن دريك أن هذا ما فعله جاليليو، حيث حدد نبراً معيناً، قبل دحرجة الكرة على المنحدر، بأن تغنى بلحن بسيط. وقد جرب دريك هذه التجربة مع نشيد «إلى الأمام أيها الجنود المسيحيون» (Onward Christian Soldiers) بمعدل نحو نبرين في الثانية. وبعد تحرير الكرة في أعلى المنحدر، استخدم طبشوراً لتعليم موضعها عند كل نبرة قوية.

...ONward CHRIStian SO-ol-DIER-rs MARCHing AS to

ربما لم يسجل جاليليو، مثله مثل دريك، العلامات كلها من أول مرة، لكنه بعد محاولات عدة سيكون قد علم المسار بتقسيمه إلى فترات طول؛ الواحدة نحو نصف ثانية، ملاحظاً بشيء من الرضا تزايد المسافات تدريجياً، بمعنى أن الكرة تدحرجت بسرعة متزايدة على المنحدر، بما يتوافق مع القانون.

كانت الخطوة التالية هي ربط قطعة من وتر عند كل علامة بالطبشور كي تكون كالعتب الموجود في عنق العود، وكان جاليليو يجيد العزف على هذه الآلة. استخدم دريك شرائط مطاطية، وكان إذْ يدحرج الكرة مرة بعد مرة، يُنصت وهي تضرب العتب، ضابطاً وضع هذا العتب حتى صار إيقاع النقر موحداً كإيقاع بندول الإيقاع ومتزامناً مع اللحن العسكريّ. وعندما انتهى، أظهرت العتب بدقة كم قطعت الكرة من مسافة أثناء فترات زمنية متساوية. وكل ما كان متبقياً آنذاك إنما هو قياس المسافات الفاصلة بمسطرة.

اعتقد دريك أن جاليليو، ما إن وضع قانونه، حتى أراه للآخرين بأسلوب أسهل وأقل دقة، وذلك بتعليم المسار مسبقاً (هكذا: 1، 4، 9، 16، 25، 49، 64) ثم باستخدام ساعة مائية لتأكيد الوقت. لكن ذلك كان برهاناً لا تجربة.

لماذا لم يكتب شيئاً عن طريقته الأصلية؟ الاقتراح الأفضل الذي توصل إليه دريك هو أن جاليليو كان خائفاً من أن يبدو سخيفاً. «فحتى في زمنه، كان من الحماقة أن يكتب المرء: 'اختبرت هذا القانون بإنشاد نشيد أثناء تدحرج كرة على سطح مستوٍ، وقد ثبتت دقة القانون تماماً'». ولم يمضِ وقت طويل قبل أن يلتقط تلسكوبه وينتقل إلى أشياء أخرى.

اليوم وبعد أكثر من ثلاثمئة عام على وفاة جاليليو، يستطيع



إصبع جاليليو

زوار متحف تاريخ العلوم في فلورنسا رؤية أحد أصابعه الذابلة التي كانت تلتقط الكرة المعدنية كلما وصلت أسفل المنحدر، لتعيدها إلى أعلاه من أجل رحلة أخرى. إنه الإصبع الذي نزعه أحد المعجبين، إلى جانب إحدى أسنانه والفقرة القطنية الخامسة بالإضافة إلى إصبعين آخرين، عندما أُخرجت جثته من قبرها بعد موته بقرن من الزمان لنقلها إلى مدفن أفضل. وقد نصب هذا الإصبع النحيل الطويل، المحفوظ في مَذْخَر كعظم قديس، حيث يتجه لأعلى كما لو كان يشير إلى السماء.

الفصل الثاني

وليم هارفي

أسرار القلب



وليم هارفي بريشة فيليم فان بيميل (Willem van Bemmel)

لكن ما لم أقله بعد عن كمية الدم الذي يمر هكذا ومصدره جديدٌ تماماً وغير مسبوق، حتى أنني لا أخشى على نفسي ضراً من حسد بعض الحاسدين فحسب، بل ترتعد فرائصي خشية أن أحوّل البشرية جمعاء إلى أعداء لي، لأن العادة تصبح مترسّخة بمثابة الفطرة. وما أن تُنثَر بذور أي معتقد حتى يضرب بجذوره في الأعماق، ولاحترام القديم تأثيره على البشر جميعاً. ومع ذلك فقد قضي الأمر، وإنما ثقتي في حبي للحقيقة وصدق أصحاب العقول النيّرة.

- ***وليم هارفي***

بدا جنين الكتكوت الراقد في حاوية ماء فاتر كسحابة صغيرة. فقد نُزعت عنه قشرته بعناية، وفي الداخل كان هناك قلب صغير يخفق كنقطة صغيرة لا تزيد على رأس دبوس تختفي وتعاود الظهور مع كل خفقة. وبعد ذلك بسنوات، في سنة 1628، وصف طبيب لندني يسمى وليم هارفي (William Harvey) هذه الظاهرة، فقال: «بين الظاهر والخفي، بين الوجود وعدم الوجود، إذا جاز التعبير، كان يعطينا بنبضاته صورة ما عن بداية الحياة».

ربما ليس هناك قطّ مَن درس أنواعاً مختلفة وكثيرة من القلوب، كقلوب الكلاب وقلوب الخنازير وقلوب الضفادع والعلاجيم والثعابين والأسماك والبزّاقات وسرطانات البحر. فقد كان هناك نوع معين من الجمبري ذو جسم شفاف يوجد في المحيط وفي نهر التايمز، وكان هارفي وأصدقاؤه يراقبون قلبه وهو يدور «كما لو كانوا يرونه من خلال نافذة». وفي بعض الأحيان كان ينزع قلب أحد المخلوقات ويشعر بإيقاعه المتباطئ وهو يخفق آخر خفقاته في يده.

ملاحظةً بعد ملاحظة، كان هارفي يقنع نفسه دون سواها بأن جالينوس العظيم، طبيب المجالدين وأباطرة الرومان، كان مخطئاً. كان جالينوس قد كتب في القرن الثاني بعد الميلاد: إن هناك نوعين من الدم يحملهما نظامان وعائيان مختلفان، أحدهما سائل نهائي، وهو إكسير التغذية والنمو، ويُصنع في الكبد ويمر

عبر شبكة الأوردة المائلة إلى الزرقة بالجسم. وهناك في الوقت نفسه سائل حيوي آخر لونه أحمر زاهٍ ينتقل عبر شبكة أخرى (هي القلب والشرايين) فينشّط العضلات ويحفز الحركة. (وهناك جزء من هذا السائل الحيوي يُحوَّل داخل المخ إلى خلاصة أثيرية تتدفق خلال الأعصاب). كانت جميع هذه السوائل مشبعة بروح غير مرئية تدخل من خلال الرئتين مع كل نفَس قبل أن تعبر إلى القلب من خلال أنبوب غليظ يسمى الوريد الرئوي. وبعد مرور ألف وأربعمئة سنة، كان ذلك لا يزال يُدرَّس للطلاب في كليات الطب.

بدأ هارفي تعليمه على الأرجح في كامبريدج، حيث التحق سنة 1593 بكلية جونفيل أند كيز (Gonville and Caius) وهو في السادسة عشرة من عمره. وكان سَميّ الكلية الدكتور جون كيز (John Caius)، وهو جالينوسيّ ملتزم، قد رتّب للحصول على إجازة ملكية تمنح الكلية مجرميْن نفّذ فيهما حكم الإعدام كل سنة لأغراض التشريح والدراسة. حصل هارفي على لمحات سريعة عن علم التشريح البشري بالإضافة إلى دراسته الخطابة والكلاسيكيات والفلسفة. ولا بد هنا أن التشريح أثار اهتمامه، حيث رحل عن كامبريدج ليلتحق بجامعة بادوا، أعرق مدرسة للطب في أوروبا.

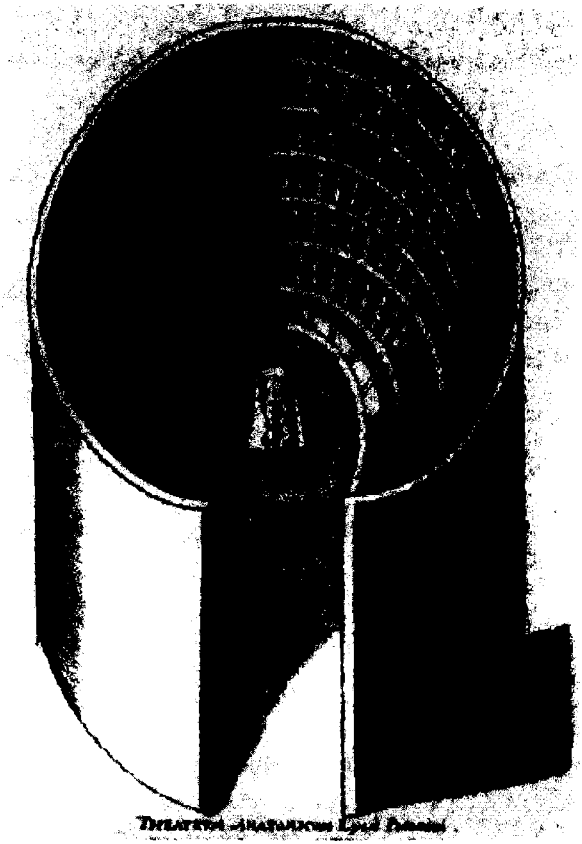
كانت الجامعة، بما تحظى به من حماية جمهورية البندقية، تحسّ أنها أكثر حرية من غالبية ما سواها من معاهد علمية لتحدِّي عقيدة الفاتيكان. عندما أتى هارفي الجامعة، كان جاليليو يُدرّس فيها،

وكذلك هيرونيموس فابريسيوس (Hieronymus Fabricius)، أعظم علماء التشريح في أوروبا. وفي أكتوبر من كل عام في عيد القديس لوقا (حيث كانت الجثث تدوم أطول في الطقس الأشد برودة)، كانت المحاضرات الطبية تبدأ بقدّاس كامل المراسيم يجلس الطلاب بعده في الشرفات المتراصة بعضها فوق بعض في مسرح التشريح لمراقبة فابريسيوس ومساعديه، والمباضع في أيديهم، وهم يقومون بجولة كبرى داخل جسم الإنسان.

عاد هارفي إلى لندن بعد حصوله على شهادة الطب في سنة 1602 حيث تزوج ابنة الطبيب الملكي لانسلوت براون (Lancelot Browne). وعقب تعيينه في منصب في مستشفى سانت بارثولوميو، وهو أقدم مستشفى بالمدينة، أسَّس عيادة كان من بين المترددين عليها السير فرانسيس بيكون (Francis Bacon) والملك جيمس الأول وخليفته الملك تشارلز الأول.

وعلى الرغم من قصر قامة هارفي وعدم امتلاكه جسماً يثير الإعجاب، فإن عينيه الداكنتين الحادتين وشعره الأسود اللامع كان لها تأثير هائل. وقد وصفه الكاتب الإنجليزي جون أوبري (John Aubrey) بأنه مولع بالتأمل لكنه سريع الغضب («دأب على القول إن الإنسان ما هو إلا بابون مزعج كبير») ومن عادته تقلّد خنجر، وإن كان أوبري أقرّ بأن هذا هو الزي السائد آنذاك. «لكن هذا الدكتور كان ميالاً إلى استلال خنجره بسبب ودون سبب».

كان عقل هارفي أشبه بالمبضع. فسواء كان يقوم بجولاته في المستشفى أو يحاضر مسستعيناً بجثة في كلية الأطباء، فلم تكن لتفوته شاردة ولا واردة من تفاصيل التشريح البشري. وعندما يجد



مسرح تشريح فابريسيوس
منظر شبه تخطيطي بحسب توماسيني (Tomasini)

عضواً مختلفاً عما وصفته حكمة جالينوس، كان يقترح بدبلوماسية أن الأجسام قد تغيرت منذ عهد جالينوس، لكنه يعمل على انفراد على تجميع قصة مختلفة تماماً.

بدأ هارفي بمخلوقات بسيطة، فراعه أن قلوبها تخفق بسرعة كبيرة جداً بحيث لم يكد يستطيع فهم الحركات. وكان يعلم أن هناك نوعين من الخفقات: الانقباض، عندما يتقلّص القلب، والانبساط، عندما يتمدّد. لكنه عندما شاهد هذه العملية في جسم حي، بدا له أن من المستحيل تمييز إحدى الحركتين عن الأخرى.

> ولأنني لم أستطع أن أميّز بشكل صحيح في البداية متى يحدث الانقباض ومتى يحدث الانبساط، ولا متى ولا أين يحدث التمدد والانكماش، وذلك نتيجة سرعة الحركة، التي تتم في كثير من الحيوانات في طرفة عين، فتتذبذب كومضة برق، كان الانقباض يبدو لي الآن من هذه النقطة ثم من تلك النقطة، والشيء نفسه مع الانبساط. ثم انعكس كل شيء، فبدا لي أن الحركات تحدث على وجوه مختلفة وبلا انتظام. وهكذا اضطرب فكري بشدة، ولم أعرف ما ينبغي أن أخلص إليه أنا نفسي، ولا ما أصدقه من الآخرين. لم يدهشني ما كتبه أندرياس لورنتيوس (Andreas Laurentius) من أن حركة القلب محيّرة مثلما بدا تدفق المياه عبر مضيق

إفريبوس ثم انحساره محيراً لأرسطو.

لورنتيوس من أطباء عصر النهضة، وإفريبوس مضيق على ساحل بحر إيجة اليوناني حيث يتدفق المد والجزر دخولاً وخروجاً سبع مرات يومياً. وتقول الأسطورة إن أرسطو اغتمّ لفشله في فهم هذه الإيقاعات فأغرق نفسه فيه.

إذا كان لهارفي أن يُحسن فهم المدّ والجزر في القلب، فسيحتاج إلى مراقبة الظاهرة بوتيرة أبطأ على نحو ما فعل جاليليو بِكُراته المتسارعة. فالقلب يخفق بتمهّل في «الحيوانات ذوات الدم البارد» (البرمائيات والأسماك والزواحف والقشريات والرخويات)، ويُفترض أن هذه القلوب البسيطة تعمل وفقاً للمبادئ ذاتها كقلوب الثدييات والإنسان. في تجربة تلو أخرى، تتبّع هارفي حدْسه استعداداً للحالات الأشد صعوبة التي لم تأتِ بعد، إذ سرعان ما تعلّم أن هناك ظروفاً معينة يتباطأ فيها حتى أيض الحيوانات ذات الدم الحار حتى يبلغ وتيرة شديدة الانخفاض، وذلك أثناء اللحظات الأخيرة من الحياة عندما تتضاءل خفقات قلب الحيوان المسكين- الذي أضعفه تشريحه وهو حي- أكثر فأكثر حتى تفيض روحه أو ما يبقيه حيّاً.

كان جهازا الدوران لدى جالينوس، على الرغم من اختلافهما في الغرض والوظيفة، يوجدان في القلب ولا يفصل أحدهما عن الآخر سوى مليمترات. فالدم المائل إلى الزرقة الذي ينتجه الكبد

باستمرار وينقله الوريدان الأجوفان العلوي والسفلي يتدفق من الحجرتين اليُمنيين في القلب وإليهما. وعلى الجانب الأيسر، المفصول بجدار سميك يسمى الحاجز، يتدفق الدم الشرياني. وكانت الأوعية تؤدي أيضاً إلى الرئتين اللتين تعملان على تبريد الدم وإيصال الهواء إلى القلب. وهذا الهواء هو الذي يبث الحياة في الدم الوريدي، الذي كانت تتسرب كمية ضئيلة جداً منه عبر الحاجز من خلال مسامات خفية ثم منه إلى الأوعية الشريانية.

كان بعض أجزاء هذه الصورة قد تعرض بالفعل للتشكيك، حيث أنكر الطبيب الفلمنكي فيزاليوس (Vesalius) في كتابه «حول نسيج الجسم البشري» (Concerning the Fabric of the Human Body)، نشر لأول مرة في سنة 1543 (وهي السنة نفسها التي أعلن فيها كوبرنيكوس نظريته عن مركزية الشمس)، إمكانيةَ تسرب الدم عبر جدار القلب الفاصل بعد أن أمعن النظر قدر المستطاع ولم يجد حتى أدق المسامات. وقد أصاب فيزاليوس في ذلك وإن أخطأ في السبب؛ إذ نعرف الآن أن هناك فتحات مجهرية تنتشر في أنسجة الجسم. أما هارفي فهو من حسم الأمر، حيث فتح بحرص شديد قلب ثور وصب ماءً في الجانب الأيمن ولاحظ عدم وصول شيء من هذا الماء إلى جانبه الأيسر.

كان أتباع جالينوس يدرّسون تلاميذهم أيضاً أن الدم بنوعيه الوريدي والشرياني يتحرك كالمد والجزر جيئةً وذهاباً خلال

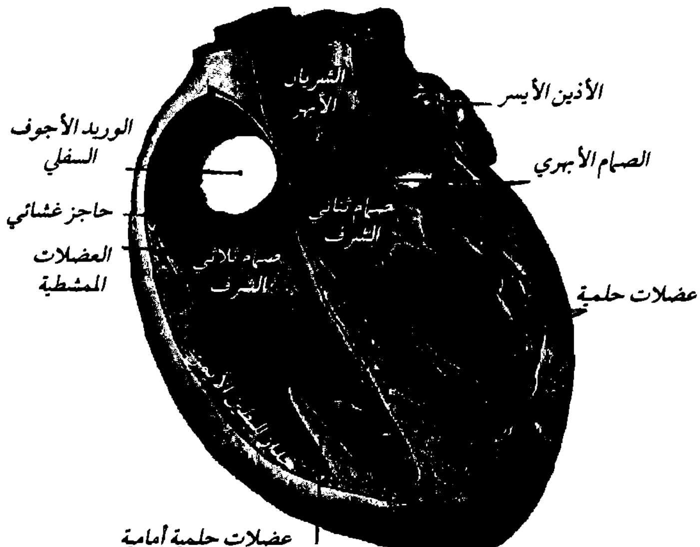
النظامين، حيث تتمدد الأوعية، النابضة بالروح الحيوية، في وقت واحد فتمتص الدم، وعندما تنكمش يتدفق الدم في الاتجاه الآخر. وكان القلب يشارك في هذه العملية بدور ثانوي، منبسطاً ومنقبضاً كالكير.

لكن ما لاحظه هارفي لم يكن كذلك. فعندما كان القلب ينقبض كيدٍ مقبوضة، كان يبدو شاحباً كما لو أن الدم يُعتصر منه. وعندما كان ينبسط، كان يستعيد حمرته من جديد مع عودة الدم إليه. والأشدّ دلالة أنه عندما وضع إصبعه على شريانٍ، شعر به يتمدد في الوقت نفسه مع انقباض القلب. بدا له أن القلب هو الذي يحرك النظام وأن جالينوس عكس المسألة؛ إذْ إن الدفع بفعل الانقباض، لا السحب بفعل الانبساط، هو الذي يحرك الدم. اقطعْ شرياناً في ثدييّ حيّ وستجد الدم يتدفق منه «بغزارة وسرعة كما لو كان مدفوعاً بمحقنة».

إذا كان القلب مضخة، كما علّل هارفي، فلا بد أن يعرف كيف تعمل. كان علماء التشريح يعرفون بالفعل أن القلب مقسم إلى أربع حجرات. في الأعلى يوجد الأذينان الأيسر والأيمن، ومن تحتهما يوجد البطينان الأيسر والأيمن. وفي أحد الأيام في أثناء إجراء عملية تشريح، وضع هارفي إصبعاً على بطينٍ أيسر. انبسط البطين ممتلئاً بالدم بالتزامن تماماً مع انقباض الأذين الذي يعلوه. ثم انقبض البطين ذاته بعد لحظة دافعاً الدم خارجه إلى الشرايين،

وكانت الحركة ذاتها تحدث على الجانب الأيمن. ومن جديد كان جالينوس مخطئاً. لم يكن الدم يُضخّ من اليمين إلى اليسار بل من أعلى إلى أسفل، وفي هذا كتب هارفي: «هاتان الحركتان، حركة الأذينين وحركة البطينين تحدثان على التعاقب، لكن على نحو فيه نوع من التناغم أو الإيقاع المستمر بينهما، والحركتان تحدثان بطريقة ما حيث تكون حركة واحدة هي الظاهرة».

شبّه هارفي هذه الحركة بحركة آلة، وفي هذا يقول: «عجلةٌ تمدّ عجلةً أخرى بالحركة، ومع ذلك يبدو أن جميع العجلات تتحرك في وقت واحد». كان يعلم أن بعض قرائه ربما يستاء من هذا الوصف



مقطع مستعرض لقلب بشري من كتاب «تشريح جراي» (Gray's Anatomy)

الميكانيكي، لكن ذلك لم يكن ما يقصده. «يجب عما قريب تفحّص إذا كان القلب يضيف شيئاً آخر إلى الدم، إلى جانب دفعه وتحريكه موضعياً وتوزيعه على أجزاء الجسم- كحرارة أو روح أو كمالٍ- وحسم ذلك على أسس أخرى». كان يخامره شعور بأن للجسم دوراً أكبر من مجرد العمليات البدنية، وأن القلب بمثابة «الشمس في كونٍ مصغّر» وأن الدم جوهر روحيّ أو «أداة من أدوات السماء». لكن ذلك لم يكن يعني عدم إمكانية دراسة حركاته منهجيّاً.

الكلمات التي أوردناها هنا مقتبسة من رائعة هارفي «حول حركة القلب والدم في الحيوانات» (*On the Motion of the Heart and Blood in Animals*)، ذلك الكتاب القصير الذي نُشر في سنة 1628 بعد عقدين من البحوث وما زال -على الرغم من ميله إلى التكرار بعض الشيء- مناسباً لقراءة ممتعة، حيث يرتب هارفي أدلّته خطوةً خطوةً بمثابرة مدّعٍ عامٍّ يناقش قضية ما. ويمكننا أن نتصوره في قاعة المحكمة ملوحاً بخنجره المهيب ومخاطباً هيئة محلفين.

في البداية يطلب من الجمهور تأمل النظام الشرياني. وكان واضحاً آنذاك من تجاربه أن الغرض من الجانب الأيسر من القلب إنما هو ضخ الدم إلى الشرايين التي تنقله بدورها إلى أطراف الجسم، كما كان واضحاً أن هذا التدفق يسير في اتجاه واحد خلافاً للمد والجزر نظراً إلى وجود صمامات بين البطين الأيسر والشريان الأبهر تمنع تدفق الدم عائداً إلى الاتجاه الآخر.

تأمل بعد ذلك النظام الوريدي. فقد كان معروفاً منذ زمن طويل أن أوردة الساقين والذراعين تحتوي على صماماتها الداخلية الخاصة بها. وكان أستاذ هارفي في جامعة بادوا، عالم التشريح العظيم فابريسيوس، قد اكتشف هذه «البوابات الصغيرة»، لكنه ظن أنها لا تعمل إلا على إبطاء الدم ومنع امتلاء الأوعية. واكتشف هارفي الحقيقة بإدخال مجس طويل في وعاء دموي ودفعه عكس اتجاه القلب، فكانت الحركة تشهد مقاومة، وعند دفع المجس في الاتجاه الآخر كان ينزلق بسهولة. كانت الأوردة ممرات أحادية الاتجاه، فكان الدم الشرياني يُدفع خارج القلب إلى الجسم، أما الدم الوريدي فكان يتدفق من الجسم عائداً إلى القلب.

أخيراً تأمل كيف ينتقل الدم الوريدي من الحجرتين اليمنيين اللتين استقبلتاه إلى الجهة اليسرى. كان هارفي قد أثبت بالفعل أن التدفق لم يكن يتم عبر الحاجز، مما ترك مساراً واحداً محتملاً، وهو الشريان الرئوي الواصل بين البطين الأيمن والرئتين. لم يكن الهواء هو الذي يتدفق نزولاً عبر هذا الوعاء، بل الدم هو الذي يتدفق صعوداً في الاتجاه الآخر، وبعد انتشاره بطريقة ما خلال أنسجة الرئتين الإسفنجية، كان يخرج من خلال الوريد الرئوي الذي يؤدي إلى الأذين الأيسر. كان الاستنتاج حتمياً وهو أن الجانب الأيمن من القلب يضخ الدم خلال الرئتين، والجانب الأيسر يضخ الدم خلال الجسم.

لم يكن هارفي أول من فكر في هذا. ففي القرن السابق كان هناك لاهوتي وطبيب إسباني هو ميخائيل سيرفيتوس (Michael Servetus) قد تكهن بالدوران الرئوي في رسالة دينية قال فيها: «مثلما يجعل الربّ الدم متورداً بسبب الهواء، كذلك يجعل المسيح الروح تتّقد». (كانت مجادلاته التشريحية جزءاً من هجوم على الثالوث، وفي النهاية أحرقه البروتستانت على الخازوق). واستكمالاً للموضوع، لاحظ ريالدوس كولومبوس (Realdus Columbus)، أحد مساعدي فيزاليوس، أن السائل العائد من الرئتين كان أحمر قانياً، مما يشير إلى أن بثّ الحياة كان يحدث هناك لا في القلب. وتُرك لهارفي طرح السؤال الحاسم: إذا كان الجانب الأيمن للقلب يضخ الدم خلال الرئتين إلى الجانب الأيسر للقلب، وإذا كان الجانب الأيسر عندئذ يضخه إلى الخارج في الشرايين... فما الذي يحدث إذن للدم الشرياني كله عند بلوغه وجهته، ومن أين يأتي إمداد الدم الوريدي اللانهائي؟

كان لدى الجالينوسيين إجابة: يخلّق نوعا الدم باستمرار بفعل ابتلاع الطعام ويُستهلك في نمو الجسم وتحركاته. فقرر هارفي إجراء بعض الحسابات. كان قد وجد من واقع التشريحات التي أجراها أن البطين الأيسر سعته أونصتان أو أكثر من الدم، ولا يُطرد إلا جزء من هذه الكمية- ولِنَقُل نصف أونصة- عند كل خفقة. وبعد ألف خفقة قلب فحسب (15 دقيقة للشخص العادي)، ستصل هذه

الكمية إلى نحو 4 جالونات، أي كمية دم أكثر بكثير مما كان موجوداً في الجسم بأكمله. وبعد أن حسب هذا الدم بوزنه لا بحجمه، وجد أن القلب سيضخ ما يزيد كثيراً عن طن من الدم يومياً. كان ذلك سيحتاج تناول طعام كثير وممارسة الكثير من التمارين البدنية.

وهكذا جاءت الفرضية الجذرية: عندما يصل الدم الذي يضخه الجانب الأيسر للقلب إلى أقصى أطراف الشرايين، تلتقطه الأوردة وتعيده إلى الجانب الأيمن للقلب. وبعبارة أخرى، الدم يتحرك حركةً دائرية، أي أنه يدور.

حسم هارفي المسألة بتجربة رائعة.

> إذا مُدد ثعبان حيٌّ مفتوحاً، فسيُرى قلبه يخفق بهدوء وبوضوح لأكثر من ساعة، متحركاً كدودة، ومنقبضاً بأبعاده الطولانية (لأنه مستطيل الشكل)، ودافعاً محتوياته. ويصير لون هذا القلب شاحباً عند الانقباض وفاقعاً عند الانبساط.

باستخدام ملقط أو الإبهام وأحد الأصابع، اقرص الوريد الرئيس (الوريد الأجوف) قبل دخوله القلب مباشرة. تُفرغ المسافة الممتدة من موضع الانسداد إلى القلب ما بها من دم بسرعة، ويزداد القلب شحوباً ويصغر حجمه ويتباطأ خفقانه «حتى يبدو في النهاية وكأنه موشك على الموت». حرر قبضتك وسيمتلئ القلب بالدم وينتفض عائداً إلى الحياة.

بعد ذلك اقرص أو اربط الشريان الرئيس بعد خروجه من القلب مباشرة. يمكنك رؤية الجزء الممتد بين الانسداد والقلب وهو «يتمدد بشكل مفرط ويكتسب لوناً أرجوانيّاً قاتماً أو حتى لوناً أزرق مسودّاً، وفي النهاية يبدو مثقلاً بشدة تحت وطأة الدم حتى تعتقد أنه على وشك الاختناق». ومن جديد، يعود القلب إلى طبيعته عند إزالة الانسداد.

هكذا أُغلقت المسألة أو كان ينبغي أن تُغلق.

سيُترك الأمر لآخرين ليثبتوا باستخدام المجهر وجود الشعيرات الدقيقة التي تصل الشرايين بالأوردة في أطراف الجسم وليفسروا العملية التناضحية التي تنقل الدم عبر الفاصل. وفي تلك الأثناء، قدم هارفي للمرتابين وسيلة يتثبتون بها من نظريته بأنفسهم. ضع رباطاً محكماً على أعلى ذراعك. سيخفق الشريان وينتفخ في الجزء الواقع فوق الرباط على الجانب المتجه نحو القلب. أما تحت الرباط، وعلى الجانب المتجه نحو اليد، فلن يحدث خفقان. وفي الوقت نفسه، ستمتلئ الأوردة الموجودة في أسفل الذراع بالدم المحتجز، فيما ترتخي الأوردة الموجودة في أعلاه. أرْخِ الرباط قليلاً حيث يكون محكماً بما يكفي لسدّ الأوردة دون الشرايين، ثم لاحظ تدفق الدم بقوة عائداً إلى يدك.

على الرغم من ذلك، لم يكد أحد يصدق هارفي. وبعد مضيّ سنوات، كان هارفي لا يزال يدافع عن نظريته في مواجهة «الذّامّين

بالقول والمنتقصين بالإشارة والكتّاب الموصومين بالتعسف». وقد تحسّر لأنهم طاردوه ككلاب نابحة، «لكن يمكن توخّي العناية حتى لا يعضُّوا أحداً أو ينقلوا إليه عدوى جنونهم أو ينخروا بأسنانهم الكلبية عظام الحقيقة والأسس التي تقوم عليها».

في عام 1642 عندما نشبت الحرب الأهلية الإنجليزية، وجد هارفي نفسه، بعلاقاته الملكية على الجانب الخاسر، فنُهب بيته وأُتلفت معظم أوراقه العلمية، لكنه نجا من الاضطرابات، على عكس مليكه، ومات بعد ذلك بخمس عشر سنة رجلاً ثريّاً. وفي ذلك قال صديقه أوبري وهو يتذكر تلك الأيام: «لكنه كثيراً ما كان يقول إن من بين كل الخسائر التي تكبَّدها، لم يكن هناك أسىً يعذبه كفقدان هذه الأوراق التي لم يكن يستطع استعادتها ولا الحصول عليها بأي ثمن».



Fig. 1



Fig. 2

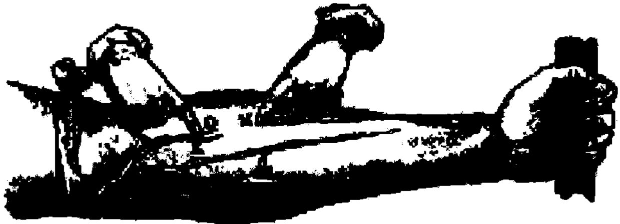


Fig. 3

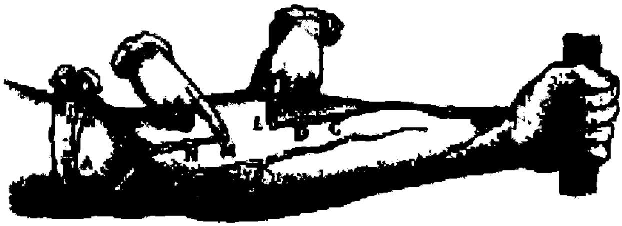


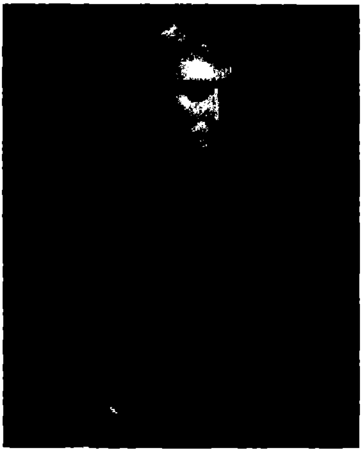
Fig. 4

الأوعية الدموية من كتاب «حركة القلب» لهارفي

الفصل الثالث

إسحاق نيوتن

كُنْه اللون



إسحاق نيوتن، بريشة السير جودفري نيلر (Godfrey Kneller)، 1689

الحقيقة هي أن العلوم الطبيعية قد تحوّلت، ولفترة أطول مما ينبغي، إلى عمل من أعمال العقل والخيال، وقد حان الآن الوقت لعودتها إلى وضوح المشاهدات وسلامتها بشأن المادة والأشياء الظاهرة.

- *روبرت هوك، «ميكروغرافيا»*

(**Robert Hooke.** ***Micrographia***)

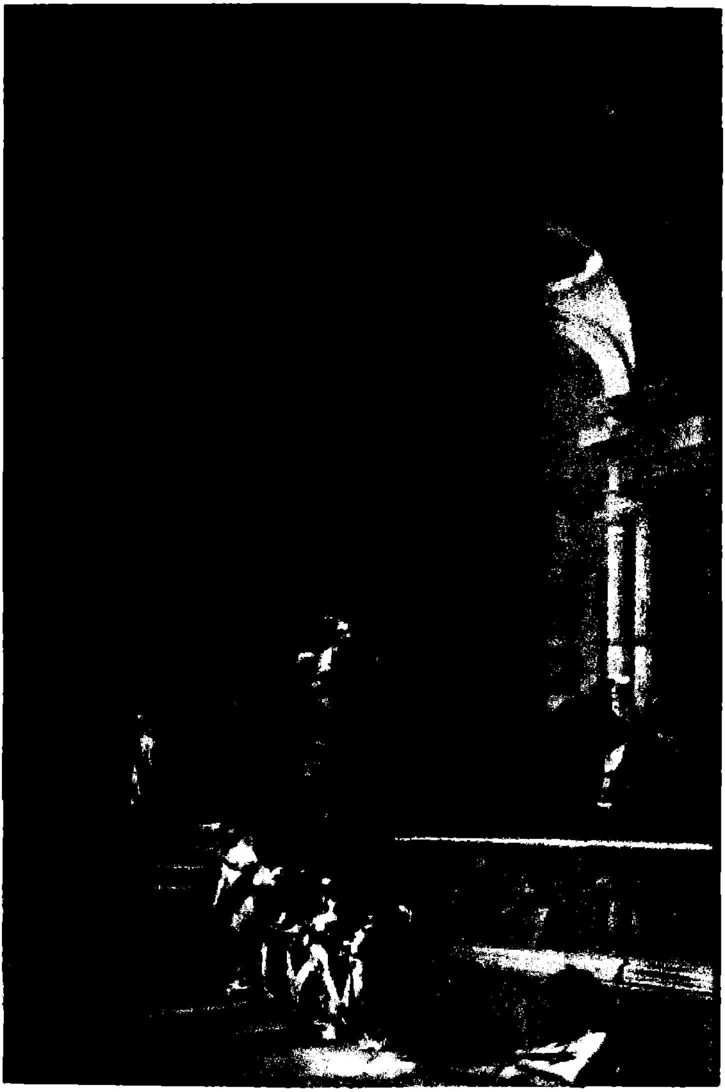
حينما تدخل قبر إسحاق نيوتن، تجذب بصرَك عالياً الفضاءات المنحنية الواسعة بالسقف الرخامي المعقود والأعمدةُ الضخمة التي تحمله وتحول دون أن يستسلم للجاذبية. ولا يضاهي السقف والأعمدة في ثقلها إلا الصمت الذي لا يشقه إلا صدى وقع قدميك وأنت ترتقي السلم المؤدي إلى الوعاء الذي يحتوي رفات هذا العالِم.

وعندئذ ستلاحظ شعاع الضوء الذي يدخل من خلال ثقب صغير على ارتفاع نحو عشرين قدماً عن الأرضية متجهاً إلى أسفل بزاوية مائلة ثم يرتد من على مرآة مثبّتة على حامل مزخرف. وينتقل من هناك عبر الغرفة خلال منشور فيتحول إلى التدرّج المعروف الذي يتجلى في الطبيعة: الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي.

هذا الضريح لا وجود له إلا في لوحة «نصُب رمزي للسير إسحاق نيوتن» (*An Allegorical Monument to Sir Isaac Newton*) التي أنجزها الرسام البندقيّ جيوفاني باتيستا بيتوني (Giovanni Battista Pittoni) في سنة 1729 بعد وفاة نيوتن بفترة غير طويلة. (لكن رفات نيوتن مدفونة في الواقع في كنيسة وستمنستر). كانت هذه اللوحة أشبه بخروج عن المألوف بالنسبة لبيتوني المعروف بموضوعاته الدينية والميثولوجية (مثل «العائلة المقدسة» *The Holy Family*، و«تضحية بوليكسينا» The Sacrifice

(of Polyxena)، لكنها كانت أيضاً غير مألوفة من ناحية أخرى.

سيصبح نيوتن معروفاً للأجيال (هو وليبِنتز (Leibniz) لاختراعه حساب التفاضل والتكامل («طريقة التفاضل» method of fluxions) الذي فسر المفهوم الذي غاب عن جاليليو: كيف تزداد سرعة جسم متسارع بشكل متناهي الصغر خلال كل لحظة من عدد لانهائي من اللحظات الزمنية متناهية الصغر. كما وصف الكواكب في رائعته المتأخرة «المبادئ الرياضية» (*Principia Mathematica*) وأثبت أن الجاذبيةَ نفسَها التي تتسبب في سقوط التفاحة هي التي تمسك بالكواكب حول الشمس. لكن لوحة بيتوني كانت تحتفي بشيء مختلف، لا بنيوتن صاحب النظريات وواضع القوانين، بل بنيوتن المجرِّب.



نصب رمزيّ للسير إسحاق نيوتن، لجيوفاني باتيستا بيتوني

لم يكد نيوتن يترك صفوف الدراسة بعد تخرجه في كلية ترينيتي بجامعة كامبريدج في سنة 1665 حتى حلّ الطاعون الكبير فأجبر الناس على خروج جماعي إلى الريف. وعندما وجد نفسه حبيس مزرعة العائلة في وولزثورب، اختلى بنفسه في مكتبه، مستنبطاً بعض الأفكار حول الرياضيات والحركة ومتأملاً الخصائص الفريدة للون والضوء.

كان أفلاطون ومن جاؤوا قبل سقراط يعتقدون أن أشعة الضوء تنبعث من العينين فتمسح العالم كالأضواء الكاشفة. أما أرسطو، الذي رفض تلك الفكرة، فكان يعلّم تلاميذه أن الألوان خليط من الضوء والظلام. فالأصفر، في النهاية، أبيض تقريباً، والأزرق أسود تقريباً. وبمجيء زمن نيوتن، أخذت الصورة تتضح، وبدأ الفلاسفة يطورون علمَ بصرياتٍ دقيقاً.

تعلموا أن الضوء عندما يصطدم بمرآة، فإن زاوية سقوطه تساوي زاوية انعكاسه، وعندما يمر خلال وسط شفاف إلى الهواء، فإنه ينثني أو ينكسر (لهذا تبدو ساقك منكسرة عندما تخطو في بركة مياه)، ويمكن التنبؤ بدرجة الانكسار من خلال ما صار يعرف بقانون سنِل (Snell). عندما كان الفيلسوف والعالم الفرنسي رينيه ديكارت (René Descartes) يدرس أقواس قزح، حدّق في قطرة ضخمة (كرة زجاجية مليئة بالماء) ودرس ما بداخلها من ألوان، وهي شبيهة بالألوان التي تظهر عندما تتألق فقاعات الصابون

ورقائق البَلَق (الميكا) وحراشف السمك وأجنحة الحشرات في ضوء الشمس. وفي سنة 1637، حاول في مقال له بعنوان «انكسار الضوء» (*Dioptrics*) تفسير منشأ الضوء، متكهناً بأنه نتاج كُريَّات دوّارة من الأثير، وكلما كان الدوران أسرع اشتدّ احمرار اللون.

لكنَّ أحداً لم يكن يعرف ذلك على وجه اليقين. فالضوء الأبيض الصافي يتلوّن، بطريقة أو بأخرى، عند اصطدامه بمادة، كما يحدث عند ارتداده عن جسم ملون أو نفاذه خلال سائل ملون أو قطعة من الزجاج الملون. بعد ديكارت بِجيل، كان هناك ثلاثة من أعظم علماء أوروبا (كريستيان هَيْجنز Christiaan Huygens وروبرت بُويل Robert Boyle وروبرت هوك) ما زالوا يطرحون نظريات في هذا الشأن، ولم يكن لدى أي منهم سبب يدعوه إلى معرفة إسحاق نيوتن. أما هوك تحديداً فسيأتي يوم يودّ فيه أنه لم يسمع باسم نيوتن قط.

كان هوك، بجسده الضئيل الأحدب، مشهوراً جدّاً بمعالجاته البديعة للطبيعة حتى كان أول من يشغل منصب القيّم على التجارب بالجمعية الملكية بلندن، التي كانت في طور الصعود كمركز للثورة العلمية. أنتج هوك، بصفته واحداً من اختصاصيي المجاهر العظماء الأوائل، رسوماً دقيقة (كانت عبارة عن برغوث وقملة مكبّرين بحجم عملاق، وعَفَن في ضخامة زهور الغابات المطيرة) ملأت كتابه الشهير «ميكروغرافيا». وركّز عدساته على

قطعة من الفلّين، مستكشفاً متاهة من الحجرات الخالية التي كان أول من سمّاها خلايا. وصمّم بصفته مخترعاً حاذقاً مضخة هوائية وساعد بويل (Boyle) في اكتشاف العلاقة العكسية بين حجم الغاز وضغطه، أي قانون بويل. كما أن هناك قانوناً باسم قانون هوك يصف بدقة طبيعة المرونة، ونصُّه أن كمية استطالة الجسم الصلب تتناسب طرداً مع القوة المؤثرة، أو كما كتب هوك نفسه، «ceiiinosssttuv»، وهي كلمة إذا أُعيد ترتيبها صارت لدينا العبارة اللاتينية «Ut tensio. sic vis» ومعناها «كيفما تكون الاستطالة تكون القوة» (لتأكيد أسبقيته وتجنب سرقة الملكية الفكرية، نشر هوك القانون أول مرة على هيئة جناس تصحيفي باللغة اللاتينية).



«بقعة بيضاء صغيرة من العفن الأزغب» كما تُرى تحت المجهر، من كتاب «ميكروغرافيا» لروبرت هوك

كان هوك على يقين أنه اكتشف أيضاً كُنْه اللون والضوء. الأبيض أساسي، والألوان زيوغ، وعبّر عن ذلك بأسلوب ملتبس: «الأزرق انطباع على الشبكية عن نبضة ضوئية منحرفة ومشوشة يسبق جزؤها الأضعف جزءَها الأقوى». أما الأحمر فكان عكس ذلك، أي نبضة مشوهة «يسبق جزؤها الأقوى جزءَها الأضعف». ويمكن مزج الأحمر والأزرق وتخفيفهما لتكوين درجات لونية هجينة. وكان لهَيْجِنز وبُويل نظرياتهما، لكنها جميعاً تنتهي إلى الأساس ذاته وهو أن اللون ضوء ملوَّن.

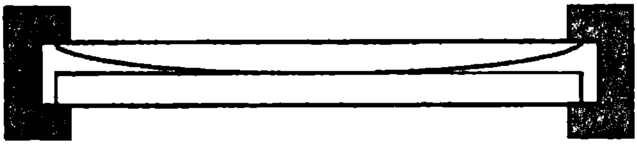
استعرض نيوتن بإمعانٍ- بادئاً من نقطة الصفر- ما اكتشفه الآخرون من قبله، وأضاف إليه بعض الملاحظات. إذا ما أخذت قطعة رقيقة- تكاد تكون شفافة- من رقاقةِ ذهبٍ، لوجدت أنها تعكس ضوءاً أصفر. لكنك- كما نوّه نيوتن- إن أمسكت بها «بين عينك وشمعة مضيئة»، فستجد الضوء النافذ منها أزرق. ويمكن الحصول على ظاهرة معاكسة من خشب يسمى الصندل الهندي (lignum nephriticum) ويبيعه الصيادلة بمثابة علاج للكُلى. عندما يُقطّع هذا الخشب إلى شرائح رقيقة ويُنقع في الماء، «يعكس السائل- عند النظر إليه في قنينة شفافة- أشعة زرقاء ويُنْفذ أشعة صفراء». والشيء نفسه ينطبق على بعض قطع الزجاج المستوي، حيث «تبدو بلون معين عند النظر إليها وبلون آخر عند النظر

خلالها». لكن هذه الظواهر زيوغ؛ «فبوجه عام، الأجسام التي تبدو للعين بلون معيّن، تبدو باللون نفسه في كل الأوضاع».

درس نيوتن، وهو في عزلته اتقاء من الطاعون، العالَم بعيْني رجل أعمى رُدّ إليه بصره فجأة. المواد القاتمة أو نصف الشفافة التي تُطحن على هيئة مسحوق أو تُكشط بسكين تصبح أفتحَ لوناً؛ لأن التشويه بالسحق يحدث «عدداً كبيراً من الأسطح العاكسة» التي لم تكن موجودة من قبل. بالمقابل، المواد المشبعة بالماء تزداد قتامة، «لأن الماء يملأ المسام العاكسة».

كما تلاعب نيوتن بالصفائح الزجاجية، فوضع عدسة مستوية ملاصقة لعدسة ذات انحناء كرويٍّ معتدل. وبتسليط شعاع ضوء على السطح، رأى نمطاً ساحراً من الدوامات الملونة أو ما يسمى حلقات نيوتن. «وهكذا، عندما تقرّب العدستان إحداهما إلى الأخرى أو يباعد بينهما، تكبر الدوائر الملونة أو تصغر. ومع تقريبها بدرجة أكبر وأكبر، تظهر المزيد من الدوائر بينهما». أخذ نيوتن هذا الجهاز إلى غرفة مظلمة، وعرّضه إلى شعاع أزرق منبعث من منشور، فرأى هذه المرة شكلاً أحادي اللون مكوناً من دوائر مظلمة ومضيئة، كما أنتج الضوء الأحمر نمطاً مماثلاً.

كان هوك قد وصف هذه الظاهرة، المعروفة بالتداخل، من قبل في كتابه «ميكروغرافيا»، لكن نيوتن سبر أغوارها ونسبها لنفسه.



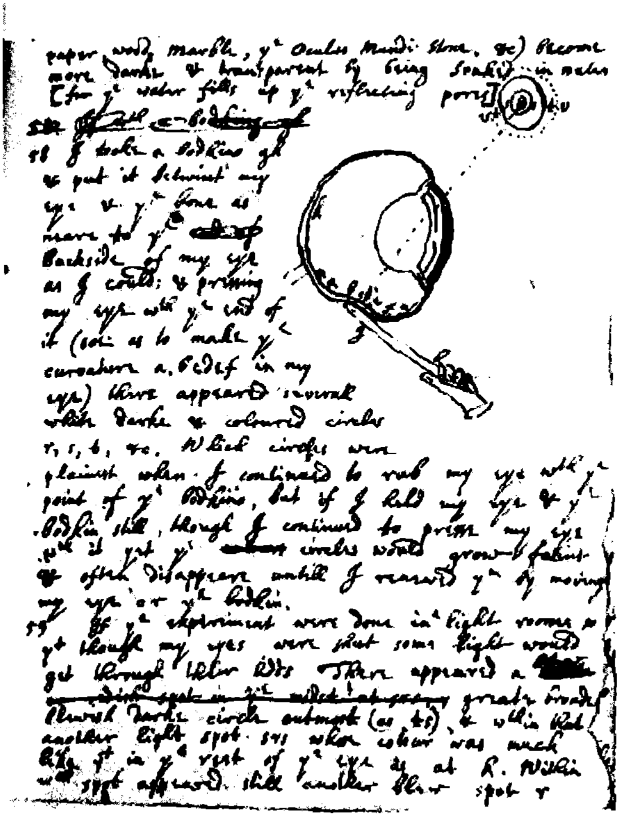
عدستان متلاصقتان تُستخدمان لإظهار حلقات نيوتن

مع تحول اهتمامات نيوتن إلى وسواس، صار يجرّب بعينيه، فأخذ مسباراً كليلاً رقيقاً سمّاه مِخْرَزاً وأدخله بحذر «بين عينِي والعظْمة، قريباً من مؤخرة عيني قدر المستطاع». وعندما ضغط المخرز على مقلة عينه وحكّها به، رأى «العديد من الدوائر البيضاء والمظلمة والملونة». وعندما كرر التجربة في ضوء النهار وعيناه شبه مغمضتين، «ظهرت دائرة مظلمة مائلة إلى الزرقة واسعة جداً» وبداخلها بقعة مضيئة أصغر منها. أما إذا ضغط بشدة كافية فكانت تظهر له دائرة صغيرة أخرى زرقاء داخل تلك البقعة. وأسفر إجراء التجربة في الظلام عن ظاهرة مختلفة، حيث «ظهرت الدائرة مضيئة مائلة إلى الاحمرار» وتحيط بدائرة داخلية «زرقاء قاتمة».

وفي بعض الأحيان كان يرى، وهو يُقحم المخرز ويديره في محجر عينه، المزيد من الفروق الدقيقة، إذْ رأى شكلاً من حلقات ملونة «من المنتصف أخضر فأزرق فأرجواني فأرجواني قاتم فأزرق فأخضر فأصفر فأحمر كاللهب فأصفر فأخضر فأزرق فأرجواني عريض فأسود». وعندما حدق في الشمس أو في صورتها المنعكسة،

لاحظ أن الصورة التِّلْوِيَّة حمراء، «لكنني إذا دخلتُ غرفة مظلمة، صارت الصورة الوهمية زرقاء».

كان نيوتن يعرّج من الفيزياء على التشريح من حين لآخر، فتعلّم من خلال قراءاته أن هناك ذبذبات بصرية تنتقل من كل عين عبر الأعصاب البصرية- «وهناك عدد وافر من هذه الأنابيب الدقيقة»- إلى المخ. فحاول بتشريح الأنسجة المحيطة بعين ما- عين حيوان لحسن الحظ لا عينه هو- أن يقف على طبيعة المادة التي تنقل هذه الصور، فخلص إلى أن «الماء كثيف بدرجة لا تتناسب مع هذه الصور الرقيقة». بدت «الأرواح الحيوانية» التي قال أتباع جالينوس إنها تجري في الجهاز العصبي احتمالاً أفضل، لكن نيوتن استبعدها بتجربة أجراها، «على الرغم من أنني ربطت أحد طرفي قطعة من العصب البصري وسخّنته في منتصفه لأرى ما إذا كانت هناك أية مادة هوائية ستظهر بهذه الطريقة على هيئة فقاعات عند الطرف الآخر، فإنني لم ألمح أية فقاعات، وما رأيت إلا قليلاً من الرطوبة اعتصرها النخاع نفسه».


paper, wood, marble, y^e^ Oculus Mundi stone, &c) become more darke & transparent by being soaked in water (for y^e^ water fills up y^e^ reflecting pores)

58 I tooke a bodkine gh & put it betwixt my eye & y^e^ bone as neare to y^e^ backside of my eye as I could: & pressing my eye with y^e^ end of it (soe as to make y^e^ curvature a, bcdef in my eye) there appeared severall white darke & coloured circles r, s, t, &c. Which circles were plainest when I continued to rub my eye with y^e^ point of y^e^ bodkine, but if I held my eye & y^e^ bodkin still, though I continued to presse my eye with it yet y^e^ circles would grow faint & often disappeare untill I resumed y^m^ by moving my eye or y^e^ bodkin.

59 If y^e^ experiment were done in a light roome so y^t^ though my eyes were shut some light would get through their lids There appeared a greate broade blewish darke circle outward (as ts), & within that another light spot srs whose colour was much like y^t^ in y^e^ rest of y^e^ eye as at k. Within which spot appeared still another blew spot r

تجربة نيوتن على عينه (صفحة من دفاتر ملاحظاته)

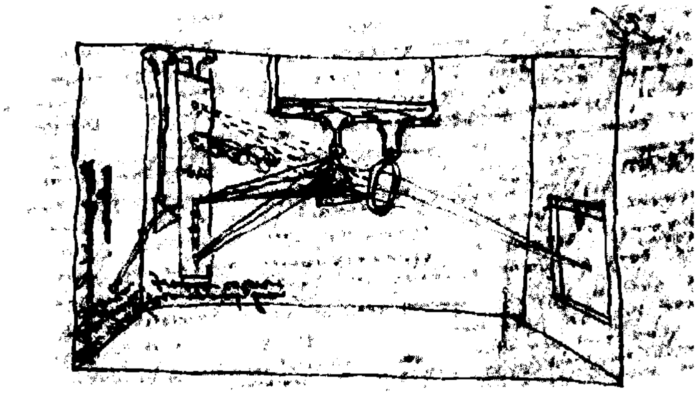
لو كان كل شيء قد انتهى عند هذه النقطة (انتظار خروج أرواح الرؤية على هيئة فقاعات من الأنابيب البصرية)، فلربما ظل نيوتن مجرد عبقري آخر من عباقرة القرن السابع عشر حيّره الضوء واستعصى عليه. لكنه في خضم استقصاءاته، استحوذ عليه فضول

وحب استطلاع فيما يتعلق بالمناشير. ارسم خطاً نصفه أزرق ونصفه الآخر «أحمر داكن» على قطعة سوداء من الورق وسيبدو من خلال المنشور منحرفاً أو كما قال «منكسراً إلى قطعتين بين اللونين». كان الشيء نفسه يحدث عند استخدام خيطين أحدهما أزرق والآخر أحمر، حيث يُرى أحدهما مُنزاحاً عن الآخر. لكن لماذا يعامل المنشورُ الألوانَ بطريقة مختلفة؟

في أحد الأيام ثار فضوله فأحدث ثقباً دائرياً قطره ربع بوصة في مصراع نافذته، وأمسك بمنشور في مسار شعاع الشمس الدقيق، فشكّل طيفاً على جدار الغرفة المُظلَّمة البعيد.

كتب نيوتن: «كانت تسلية ممتعة أن أرى الألوان الزاهية والفاقعة»، فدرجات الأزرق تتلاشى تدريجياً في درجات الأخضر ثم درجات الأصفر في درجات البرتقالي ودرجات الأحمر. لكنَّ الأهم كثير

دائرياً كثقب المصراع ولا صورة الشمس، بل كان مستطيلاً طوله ثلاث عشرة بوصة وربع البوصة وعرضه بوصتان وخمسة أثمان البوصة. كان ذلك «اختلالاً كبيراً في التناسب حتى إنه أثار اهتمامي أكثر من الفضول العادي الذي يدفعني لتمحيص مصدره».



الرسم الذي خطه نيوتن لتجربته الحاسمة

كان هناك شيء ما يتسبب في انتشار الألوان بهذه الطريقة، وظن نيوتن أن هذه الظاهرة قد تكون مصطنعة، أي أنها اقتران مُبهم لظواهر عارضة. لكن لا بُدّ من استبعاد هذا الاحتمال، فحاول الإمساك بالمنشور في أوضاع مختلفة بحيث ينتقل الضوء «عبر أجزاء متفاوتة السُّمك من الزجاج»، وأحدث ثقوباً «متفاوتة الأحجام» في المصراع، وجرّب وضع المنشور خارج النافذة كي ينفذ منه الضوء قبل عبوره من الثقب. لم يكن لأي من ذلك تأثير، إذْ «ظل نمط الضوء كما هو في هذه الحالات كلها».

وجد نيوتن أن بإمكانه، بعد كسر ضوء الشمس بمنشور، تمريرَ الألوان عبر منشور ثانٍ فتجتمع مجدداً. كان المنشور الثاني يُبطل ما فعله المنشور الأول، تاركاً دائرة عديمة اللون من الضوء على

الجدار. ولم تكن الألوان مضافة بفعل المنشور بل كانت موجودة في شعاع الضوء من البداية.

أجرى نيوتن عدداً وافراً من أمثال هذه التجارب كي يتوصل إلى هذا الاستنتاج المدهش، ولعله عرف ما الذي سيتوصّل إليه بحلول الوقت الذي أصبح فيه مستعداً لما أسماه التجربة الحاسمة (مستعيراً المصطلح من هوك). لكن هذا لا يكاد ينتقص من إثارة المفاجأة. كما كانت الحال من قبل، نفذ شعاع الضوء الداخل من النافذة خلال منشور عبَر الغرفة، لكنه هذه المرة ألقى بطيفٍ على لوح خشبي. وكان نيوتن قد أحدث ثقباً نافذاً في أحد طرفي هذا اللوح، وبإمساكه بمنشوره بدقة شديدة، أمكنه تمرير الألوان عبر الفتحة واحداً واحداً، وكانت بعد مرورها تنفذ خلال منشورٍ ثانٍ قبل أن تترك صورة على الجدار.

إن ما رآه نيوتن ذلك اليوم غيرّ طريقة تفكيرنا في الضوء إلى الأبد. فابتداءً من الطرف الأحمر من الطيف مع التدرج نحو الأزرق، كان كل لون منحنياً أكثر من سابقه قليلاً، وهذا تفصيل للظاهرة التي ألمح إليها ما حدث للخيطين الملونين، إذ «تتعرض الأشعة الزرقاء لانكسار أكبر من الأشعة الحمراء». كان ذلك سببَ الاستطالة، فلو كانت الألوان كلها تنكسر بدرجة متساوية لكان الطيف نقطة شبه دائرية، لكن الضوء -كما يقول نيوتن- «يتألف من أشعة قابلة للانكسار بدرجة متفاوتة».

لقد اكتشف نيوتن كُنْه اللون، وهو عبارة عن شعاع ضوء جبلته قوة خارقة للطبيعة على الانكسار بطريقة معينة. وفي هذا كتب: «يُختص اللون ذاته بدرجة الانكسار ذاتها أبداً، وتُختص درجة الانكسار ذاتها باللون ذاته أبداً». فاللون هو الانكسار.

لقد كان هناك المزيد. عندما يفصل لون عن بقية الألوان، لا يمكن إحداث مزيد من التغيير به مهما حاول جاهداً. «كسرتُه بمنشورات، وعكستُه بأجسام كانت في ضوء الشمس ذات ألوان أخرى، واعترضتُه بغشاء ملوّن من الهواء المتوسط بين صفيحتين زجاجيتين مضغوطتين، وأنفذتُه خلال أوساط ملوّنة وخلال أوساط مضاءة بنوع آخر من الأشعة، وأنهيتُه بطرق مختلفة، ومع ذلك لم أستطع إنتاج أي لون جديد منه. كان يقوى أو يضعف عن طريق الانكماش أو التمدّد، وعندما يفقد أشعة كثيرة في بعض الحالات يصبح معتماً وقاتماً، لكنني لم أستطع قطّ رؤيته وهو يتغير بالمعنى الدقيق للكلمة».

إذا كان الشعاع مؤلفاً من أكثر من لون واحد (أي من أصفر مائل إلى البرتقالي، أو أخضر مائل إلى الصفرة)، يمكن تجزئته مجدداً بمنشور، لكنك ستصل في مرحلة ما إلى المنتهى؛ إلى مكوّنات الضوء الأساسية. «الألوان ليست تغيّرات تعتري الضوء بفعل انكسارات أو انعكاسات الأجسام الطبيعية كما يُعتقد عموماً، بل خصائص أصلية وطبيعية».

الضوء الأبيض هو الهجين، إنه ليس مجرد لون آخر، بل مجموعة مؤتلفة من الألوان كافة، إنه «خليط غير متجانس من أشعة قابلة للانكسار بدرجة متفاوتة». فالشمس، عندما تشرق على العالم، لا تُظهر الأحمر الذي في التفاحة ولا الأخضر الذي في الورقة، بل التفاحة والورقة هما اللتان تُظهران ألوان ضوء الشمس.

كان ديكارت أيضاً يعتقد أن الألوان ليست متأصلة في الأشياء بل هي بالأحرى مظاهر لكيفية تأثيرها على الضوء، والآن فقط عرف نيوتن السبب. العالَم ملوّن لأنه يتألف من أجسام «مُعدَّة بطرق متباينة لتعكس نوعاً معيناً من الضوء بقدر أكبر من غيره».

وفي مطلع سبتمبر 1666، أتى الحريق الكبير على قطاع واسع من لندن، فقتل الفئران وعجل بنهاية الطاعون، فنحّى روبرت هوك البصريات والمساعي العلمية الأخرى جانباً وعمل مع كريستوفر رِن (Christopher Wren) لإعادة بناء لندن. أما نيوتن فقد عاد إلى كامبريدج حيث ارتقى إلى منصب أستاذ كرسي هنري لوكاس للرياضيات وحاضَر في اللون والضوء. واخترع تلسكوباً عاكساً طوله ست بوصات تفوق قوته قوة تلسكوب تقليدي له عشرة أمثال حجمه فأثار إعجاب أعضاء الجمعية الملكية، وفي سنة 1672، أي بعد تجاربه بست سنوات، نشرت الجمعية بحثه الذي حمل عنوان «نظرية جديدة حول الضوء والألوان» (New

Theory About Light and Colors) في مجلة «الأعمال الفلسفية» (*Philosophical Transactions*) التي تصدرها.

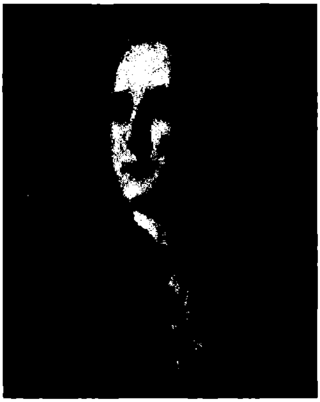
حاول هوك- وهو يتحرق حسداً وغيرةً- تشويه سمعة هذا المبدئ، ففجر عداءً دام ما بقيا على قيد الحياة. فقد أعلن هوك أنه أجرى بنفسه كل هذه التجارب من قبل وأن نظريته التي وضعها يمكنها تفسير النتائج بالدقة ذاتها (وسيزعم فيما بعد أن «مبادئ» نيوتن مسروقة منه).

أثار علماء آخرون، مثل هَيْجِنز، اعتراضات عدة في رسائلهم إلى المجلة، فرد نيوتن على المعترضين عليه بمزيج من الإنكار والازدراء. ولا شك في أن التحليل النقدي عديم الرحمة للأفكار الجديدة سيصبح جزءاً طبيعياً من العلم. لكن نيوتن، بميله الشديد إلى العزلة، أحسَّ أن في هذا تعدياً عليه، أما ما استثاره بصورة خاصة فكانت طائفة من اليسوعيين الإنجليز أكدوا عدم استطاعتهم تكرار تجربته الحاسمة وأن انتشار الطيف مصطنع بفعل «سحابة ساطعة». وقد استمر هذا اللمز حتى سنة 1678، عندما دفعه غضبه إلى العزلة وله من العُمر آنذاك خمس وثلاثون سنة. وكان هناك الكثير جداً مما لا يزال أمامه ليعمله.

الفصل الرابع

أنطوان لوران لافوازييه

ابنة الملتزم



أنطوان لوران لافوازييه

تخيل ما يعنيه أن تدرك ما يعطي الورقة لونها الأخضر!
وما يجعل اللهب يستعر!

- ماري آن لافوازييه في مسرحية «أكسجين»

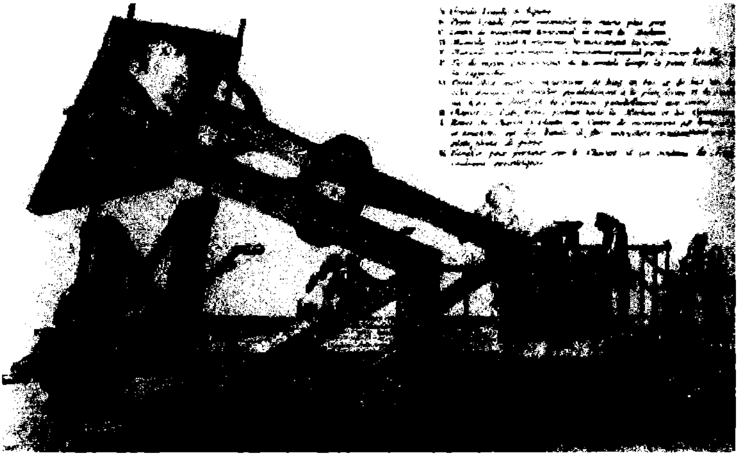
لكارل جيراسي وروالد هوفمان

في حديقة الطفل الواقعة خارج اللوفر، في أحد أيام الخريف سنة 1772، ربما لاحظ الباريسيون الذين يتنزهون على نهر السين شيئاً غريباً؛ منصة خشبية على 6 عجلات، أشبه بعربة مسطحة، مثبتاً عليها تجميعة تضم قطعاً ضخمة من الزجاج. كانت العدستان الكبريان (والتي يبلغ نصف قطر الواحدة 8 أقدام) قد وُضعتا متلاصقتين لتكوّنا عدسة مكبّرة واحدة قوية تلتقط أشعة الشمس وتوجهها لتمر خلال عدسة ثانية أصغر حجماً وتسقط على طاولة. وعلى متن المنصة وقف علماء يرتدون شعوراً مستعارة ونظارات قاتمة يجرون إحدى التجارب، فيما كان مساعدوهم، الذين يشبهون طلاب الأكاديمية البحرية، يلفّون التروس ويضبطون التجهيزات لمتابعة الشمس عبر السماء.

أحد الرجال الذين حجزوا مدة زمنية على هذه الآلة (التي تمثّل مسرّع جزيئات ذلك العصر) هو أنطوان لوران لافوازييه، وكان يحاول اكتشاف ما يحدث عند حرق الماس.

كان معروفاً منذ زمن طويل أن الماس يحترق (نحن نعرف الآن أن الماس يتكون من الكربون)، وقد طلب الجواهريّة المحليون من المجمع العلمي الفرنسي تحري ما إذا كان هذا الأمر يشكل خطراً أو لا. وكان لافوازييه نفسه مهتماً بدرجة أكبر بمسألة أخرى وهي الطبيعة الكيميائية للاحتراق. أما روعة «العدسة الحارقة» فكانت تكمن في قدرتها على تركيز أشعة الشمس على بقعة داخل حاوية

مغلقة فتسخّن كل ما يوضع فيها. وعندئذ يمكن توجيه الأدخنة المنبعثة من الوعاء من خلال أنبوب إلى دورق مياه، فيبقبق مُكوّناً فقاعةً يتم سحبها وتحليلها.



حرق الماس

أخفقت التجربة، حيث ظلت الحرارة الشديدة تحطّم الزجاج. لكن بنوداً أخرى كانت هناك على جدول أعمال لافوازييه، إذْ كان قد اقترح على المجمع العلمي برنامجاً لدراسة «الهواء الذي تحتويه المادة» وكيف يمكن أن يكون مرتبطاً بالطبيعة الحقيقية للنار.

على الرغم من أن نيوتن كان قد وضع علم الفيزياء على مسار أقوم، فإنه لم يقدم كثيراً من العون لعلم الكيمياء، والذي كان لا يزال أسيراً للخيمياء. «الكافور المذاب في حمض النتريك المقطر جيداً

يكوّن محلولاً عديم اللون، لكنه إذا ما وُضع في حمض الكبريتيك ورُجّ أثناء ذوبانه فيه، يصير السائل أصفر في البداية ثم يتحول إلى أحمر داكن». وفي صفحة تلو أخرى في كتابه الذي يتناول الوصفات الكيميائية، نجد كلاماً قليلاً عن القياس أو تقدير الكميات: «عند وضع حمض الهيدروكلوريك على النشادر الحي، يختلط السائلان بسهولة وهدوء»، فيما «إذا وضع السائل نفسه على نشادر منحل، ينتج فوراً صوت هسيس وفوران، وبعد قليل تتخثر المادة المتطايرة والأملاح الحمضية وتتحول إلى مادة ثالثة لها طبيعة ملح النشادر نوعاً ما. وفي حين أن شراب البنفسج لا يعتريه إلا التخفيف بإذابته في قليل من النشادر الحي، فإن بضع قطرات من النشادر المتخمّر يحوله فوراً إلى أخضر داكن».

كانت تلك على الأقل بدايات الكيمياء. إن الخيمياء، بما في ذلك خيمياء نيوتن نفسه، لتبدو في معظمها للسامعين في العصر الحديث شيئاً أشبه بالسحر. وفي واحد من دفاتر مفكراته، نسخ بدقة فقرات لخيميائي يسمى جورج ستاركي (George Starkey) وكان يدعو نفسه فيلاليثيز (Philalethes).

جاء في بداية الفقرة: «تتوارى في زحل روحٌ سرمدية». كانوا يقولون زحل يعني الرصاص عادةً (حيث كان كل عنصر ينسجم مع أحد الكواكب)، لكنه هنا- فيما يبدو- يشير إلى فلز فضي يسمى الإثمد. أما «الروح السرمدية» فهي الغاز المنبعث عند تعرض

الفلز الخام للهب شديد. «ويُربط بزحل المِرِّيخ من خلال روابط الحب»- أي يُضاف الحديد إلى الإثمد- «فيَلْتَهِمُه بقوة هائلة تَقْسِمُ روحُها جسمَ زحل، ومن كليهما مجتمعين يتدفق ماء ناصع مدهش تغيب فيه الشمس وتفقد ضوءها». الشمس هي الذهب الفلزي، ويُغمس هنا في الزئبق. «الزُّهَرة نجم شديد التألق يحتويه المِرِّيخ». كانوا يقولون الزُّهَرة يعني النحاس، وقد أضيف هو أيضاً إلى الخليط الآن. هذه الوصفة التعدينية فيما يبدو وصفٌ للمراحل الأولى من إنتاج «حجر الفلاسفة» القادر على تحويل العناصر الخسيسة إلى ذهب، وهو الحجر الذي طال الجدّ في طلبه.

كان لافوازييه وأقرانه قد تجاوزوا هذه التعويذات المبهمة، لكن الكيميائيين ما زالوا يقبلون عموماً المفهوم الخيميائي بأن المادة تحكمها ثلاثة مبادئ: الزئبق (الذي يجعل الأشياء سائلة) والملح (الذي يجعلها صلبة) والكبريت (الذي يجعلها تحترق). أما حمض الكبريتوز فكان مصدر سحر خاص، وفي مطلع القرن الثامن عشر أعاد كيميائي ألماني هو جورج إرنست ستال (Georg Ernst Stahl) تسميته باللاهوب (phlogiston).

الأشياء تحترق لأنها غنية باللاهوب، وتُطلِق في أثناء احتراقها هذه المادة النارية في الجو. إذا ما حدث أن أشعلت النار في قطعة من الخشب، فلن تتوقف عن الاحتراق إلا عند نفاد ما بها من لاهوب، مخلفةً وراءها كومة من رماد. ويستتبع ذلك منطقيّاً أن

يكون الخشب مصنوعاً من اللاهوب والرماد. وبالمثل، فإن تسخين فلز تحت لهب شديد (وهي العملية التي كانت تسمى التكليس أو التحميص) يخلّف مادة هشة مبيضّة أو كلساً. وهكذا فإن الفلز يتكوّن من اللاهوب وكلس. أما الصدأ فهو صورة أخرى من هذا الاحتراق البطيء وكذلك كان التنفس، وهما تفاعلان يحدثان عند إطلاق اللاهوب في الهواء.

وكانت هذه العملية تعمل بالعكس أيضاً، حيث تبين أن الكلس يشبه الفلزات الخام المستخرجة من الأرض، التي تُنقَّى أو «تختزل» بتسخينها بجوار قطعة من الفحم النباتي. فالفحم النباتي يبعث باللاهوب الذي يتحد مع الكلس لاستعادة المعدن اللامع.

لم يكن هناك عيب بالضرورة في استحضار وجود افتراضي لا يمكن قياسه وإنما يُستنتَج فحسب. ففي زمننا هذا، يقترح علماء الكون أن «مادة سوداء» غير ملموسة لا بد وأنها موجودة لمنع المجرات من الابتعاد أثناء دورانها عن قواها الطاردة المركزية، وأن «طاقة مظلمة» مضادة للجاذبية تدفع التوسع الكوني.

ومن خلال اللاهوب صار لدى العلماء تفسير متسق للاحتراق والتكليس والاختزال، بل التنفس كذلك، وصارت الكيمياء فجأة شيئاً معقولاً.

لكن هناك مشكلة: الكلس المتخلّف بعد التكليس أثقل وزناً من الم

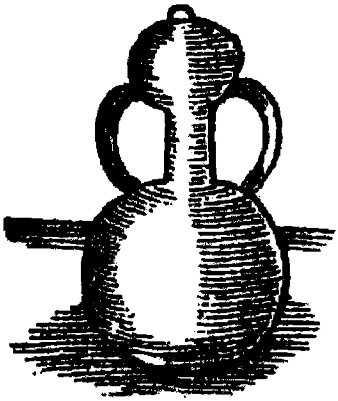
وزناً؟ كان اللاهوب، مثله مثل الطاقة المظلمة بعد مئتين وخمسين عاماً، وفقاً لكلمات الفيلسوف الفرنسي كُندُرسيه (Condorcet) «يُدفع بفعل قوى تعطيه اتجاهاً معاكساً لاتجاه الجاذبية». وقد صاغ أحد الكيميائيين هذه الفكرة بطريقة أكثر شاعرية فقال: إن اللاهوب «يعطي أجنحة للجزيئات الأرضية».

تعلّم لافوازييه أيضاً أن ينظر إلى اللاهوب كواحد من المكوّنات الرئيسة للمادة، لكنه بدأ يتساءل إبّان إجرائه التجارب على الماس: كيف يمكن لشيء أن يزن أقل من صفر؟

كانت أمه قد ماتت وهو صبي، تاركةً له ميراثاً يكفي لشراء حصة من مشروع أعمال مربح يسمى «فيرم جنرال»، وهو اتحاد خاص من رجال الأعمال تعاقدت معه الحكومة الفرنسية لجباية ضرائب معينة مقابل حصول «الملتزمين» أمثال لافوازييه على حصة منها. وعلى الرغم من أن واجباته في هذا العمل كانت تبعده عن أبحاثه، فإنه جمع مالاً كافياً لامتلاك واحد من أفضل معامل أوروبا، واستقصى في واحدة من بواكير تجاربه أجراها في سنة 1769 الاعتقادَ الشائع بإمكانية تحويل الماء إلى تراب.

بدت الشواهد مقنعة، فالماء الذي يتبخر في مقلاة يخلّف بقايا صلبة. تناول لافوازييه صميم المسألة بدورق تقطير يُسمى البجعة، وهو دورق مستدير ومستو عند القاعدة وله رقبة علوية صغيرة، وجهزه بأنبوبين منحنيين (يشبهان منقار البجعة بعض الشيء)

يعيدان الأبخرة المتكاثفة إلى قعر الدورق. كانت البجعة بالنسبة للخيميائيين ترمز لدم المسيح القرباني، ويقال إن دورق البجعة يمتلك قوى تحويلية. والأهم من ذلك أن الماء الذي يغلي في دورق البجعة يتبخر ويتكاثف باستمرار دون خروج أي شيء (صلباً كان أو سائلاً أو غازيّاً) خارج النظام.



دورق بجعة، جون فرنش، «فن التقطير»

John French. *The Art of Distillation* (London. 1651)

بعد تقطير الماء النقي لمدة مئة يوم، وجد لافوازييه أن هناك بقايا تراكمت بالفعل، لكنه كان يشتبه في مصدرها. وعندما وزن الدورق الفارغ، وجد أنه أخفّ من ذي قبل، وعندما جفف الفضلات المتبقية ووزنها، وجد زِنَتها تطابق الفرق في زِنة الدورق، فأيقن أن مصدرها الزجاج.

بعد ذلك بسنتين، في سنة 1771، تزوج لافوازييه وكان آنذاك في الثامنة والعشرين من عمره، من ماري آن بياريت بولز (Marie Anne Pierrette Paulze)، وهي ابنة أحد الملتزمين الآخرين وكان عمرها ثلاث عشرة سنة. (سُرّت ماري آن بهذه الزيجة لأن خطيبها الآخر يبلغ من العمر خمسين سنة). افتتنت ماري آن بأبحاث زوجها فتعلمت الكيمياء وهي بجانبه، وكانت تدوّن الملاحظات وتترجم المنشورات العلمية الإنجليزية إلى الفرنسية وتضع الرسوم الدقيقة لسلسة من التجارب تُوجّت بتجربة من الروعة بمكان حتى إنها- على نحو أشبه بحجر الفلاسفة- حوّلت الخيمياء إلى الكيمياء.



ماري آن بياريت بولز

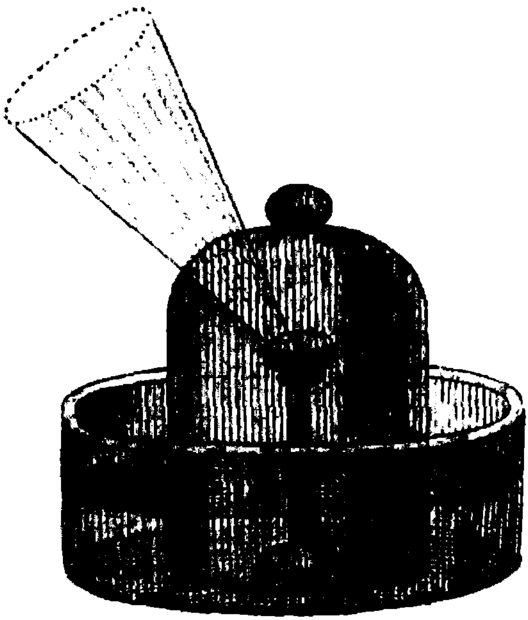
كان الكيميائيون من جيل لافوازييه قد اكتشفوا وجود «أنواع مختلفة من الهواء»، كما عبّر عن ذلك الإنجليزي جوزيف بريستلي (Joseph Priestley). الهواء الضار أو «الهواء الثابت» يطفئ اللهب ويخنق الفأر، كما أنه يعكر ماء الجير (هيدروكسيد الكلسيوم بمصطلحاتنا الحديثة)، مكوِّناً راسباً أبيض (كربونات الكلسيوم). لكن النباتات تترعرع في هذا الغاز وتحوّله ببطء إلى هواء صالح للتنفس من جديد.

كان هناك غاز خانق آخر يتخلف عندما تُشعَل شمعة في وعاء مُغطّى. ولم يكن هذا الغاز يرسّب ماء الجير، وبما أنه يرتبط ارتباطاً واضحاً بالاحتراق سُمّي الهواء «المُلَوهب»، أو الآزوت، وهي كلمة مشتقة من الكلمة اليونانية التي تعني «ميّت». أما الأشد غموضاً من كل ما عداه فهو الغاز الطيار المنبعث عندما تذاب برادة الحديد في حمض الكبريتيك المخفّف. وهذا الغاز قابل للاحتراق بشدة حتى سُمي «الهواء سريع الالتهاب»، وكانت البالونة التي تملأ به ترتفع عالياً عن الأرض.

كان السؤال هل هذه الأهوية الجديدة عناصر أو- كما اعتقد بريستلي- تغيرات تعتري الهواء «الطبيعي» تنتج عن إضافة اللاهوب أو إزالته؟

كرّر لافوازييه بعضاً من أعمال زملائه، لحرصه على كبح شكوكه تماماً، فتأكد أن حرق الفسفور للحصول على حمض الفسفوريك أو

الكبريت للحصول على حمض الكبريتيك يترك المادتين في الحقيقة أثقل وزناً، وهو الشيء نفسه الذي كان يحدث عند تكليس الفلزات. تُرى ما الذي يسبّب هذا التغير؟ ظن لافوازييه أنه يعرف الإجابة. باستخدام عدسة حارقة لتسخين قصدير موضوع داخل قارورة محكمة الغلق، وجد أن الجهاز بأكمله يزن المقدار نفسه قبل وبعد. وعندما فتح الوعاء ببطء، سمع صفير الهواء وهو يدخل، وعندها فقط ازداد الوزن. ربما تحترق الأشياء لا لأنها تطلق اللاهوب بل لأنها تمتص نوعاً من الهواء.



حرق أول أكسيد الرصاص في وعاء بواسطة عدسة مكبِّرة
رسم لماري آن لافوازييه

إذا كان الأمر كذلك، فإن اختزال مادة ما (صهر فلز خام وتحويله إلى فلز خالص) ينبغي أن يطرد الهواء إلى الخارج من جديد إذن. وزن لافوازييه كلساً رصاصيّاً يسمى أول أكسيد الرصاص ووضعه مع قطعة من الفحم النباتي على ركيزة منعزلة في حوض مياه، ثم كفأ فوقها ناقوساً زجاجيّاً. وعندما سخّن الكلس بعدسة مكبرة، أدرك من إزاحة الماء أن هناك غازاً يخرج. وعندما سحب هذا الغاز بحرص من الناقوس الزجاجي، وجد أنه يطفئ اللهب ويرسّب ماء الجير. بدا أن الهواء الثابت أحد نواتج الاختزال، لكنْ هل للقصة بقية غير ذلك؟

تبين أن الإجابة تكمن في مادة مائلة إلى الاحمرار تسمى كلس الزئبق أو أكسيد الزئبق الثنائي يبيعها صيدلانيو باريس كعلاج لمرض الزهري. وكان إجراء التجارب باستخدام أكسيد الزئبق الثنائي، والذي تباع الأونصة منه بثماني عشرة ليرة فرنسيّة وأكثر (أي نحو 1000 دولار بعملة اليوم)، يُعَدُّ إسرافاً يتساوى مع حرق الماس. لقد كان من الممكن إنتاج هذا الكلس، ككل الكِلسات، بتسخين الفلز الخالص على لهب شديد، لكنه كان يتحول مجدداً إلى زئبق عند تسخينه أكثر من ذلك، وذلك على عكس كل التوقعات. وبعبارة أخرى، كان يمكن اختزال أكسيد الزئبق الثنائي دون وجود الفحم النباتي. لكن السؤال هنا من أين يأتي اللاهوب إذن؟ أكد لافوازييه وبعض زملائه من المجمع الفرنسي في سنة 1774 أن

كلس الزئبق يمكن اختزاله «دون إضافة» فعلاً؛ ليفقد بذلك نحو جزء من اثني عشر جزءاً من وزنه.

كان بريستلي يجري تجارب على المادة ذاتها أيضاً، ويسخّنها بعدسة مكبّرة ويجمع الأدخنة المنبعثة. وأفاد عن ذلك فيما بعد: «ما أدهشني أكثر مما أستطيع التعبير عنه أن شمعة اشتعلت في هذا الهواء بلهب ملحوظ القوة.... احترت تماماً كيف أفسر ذلك». وبعد أن وجد أن فأراً معمليّاً قد انتعش وهو يتنفس هذا الغاز، جرب أن يتنفسه بنفسه. «خُيِّل إليّ أن صدري بدا خفيفاً ومرتاحاً على غير العادة لفترة من الوقت بعد ذلك. والذي يمكن أن أقوله إن هذا الهواء الخالص ربما يصبح في يوم ما سلعة رفاهية رائجة، إلا أن أحداً لم يحظَ حتى الآن بشرف استنشاقه إلا أنا وفأران».

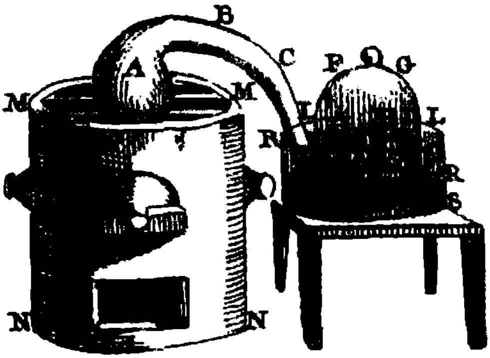
الغاز الذي يتأجج فيه لهب الاحتراق وينتعش فيه التنفس لا بد أنه ماصٌّ جيد للاهوب، ولذا سمّاه بريستلي «الهواء منزوع اللاهوب»، بمعنى الهواء في أنقى صوره على الإطلاق. لم يكن بريستلي الشخص الوحيد الذي يفكر على هذا النحو، إذْ كان في السويد صيدلاني يسمى كارل فلهلم شيله (Carl Wilhelm Scheele) يدرس خواص ما أشار إليه باسم «هواء الحريق».

بحلول ذلك الوقت، كان لافوازييه يسمّي الغاز المطرود باختزال أكسيد الزئبق الثنائي الهواءَ «الصالح للتنفس بامتياز» أو الهواءَ «الحيوي»، ومثله في ذلك مثل بريستلي يظن أنه هواء عادي

في صورته البكر. لكنه صادف تعقيداً. فعندما حاول اختزال كلس الزئبق بالفحم النباتي (أي بالطريقة القديمة)؛ انطلق الغاز نفسه الذي حصل عليه من أول أكسيد الرصاص، وهو غاز يطفئ الشموع ويرسب ماء الجير. فلماذا إذن ينتج اختزالُ كِلس الزئبق دون فحم نباتي هواءً حيويّاً، فيما يُنْتِج اختزاله بالفحم النباتي هواءً ثابتاً خانقاً؟

كانت هناك طريقة واحدة للوقوف على حقيقة الأمر، فأخذ عن الرفّ دورقاً مستدير القعر طويل الرقبة دقيقها، وقام بتسخينه وثني الرقبة حيث انحنت لأسفل ثم لأعلى من جديد.

إذا كان الدورق الذي استعمله في تجربته التي أجراها في سنة 1769 يشبه البجعة، فهذا الدورق يشبه النُّحامة. صبّ لافوازييه أربع أونصات من الزئبق الخالص في تجويف القعر المستدير (حرف A في الرسم التوضيحي) ووضعه على فرن حيث تنغمس الرقبة في طِست مملوء بالزئبق أيضاً ثم ترتفع لتدخل ناقوساً زجاجيّاً. وهذا الجهاز يعمل بمثابة مقياس لقياس مقدار الهواء الذي استُهلك في أثناء التجربة. علّم لافوازييه المستوى (حرفا L L) بملصق ورقي وأوقد الفرن وسخّن الفلز السائل في التجويف A حتى قارب على الغليان.



تسخين الزئبق في «دورق نحامي»
رسم لماري آن لافوازييه

في اليوم الأول لم يحدث الشيء الكثير، حيث تبخرت كميات قليلة من الزئبق وتكاثفت على جدار الدورق ثم تجمعت على هيئة نقاط ثقيلة بما يكفي لانزلاقها عائدة إلى القعر. وفي اليوم التالي، بدأت في الظهور على سطح الزئبق بقعٌ حمراء دقيقة، وهي الكلس. وعلى مدى الأيام القليلة التالية ازدادت مساحة القشرة المائلة إلى الاحمرار حتى بلغت في الاتساع غايته. وفي اليوم الثاني عشر، أوقف لافوازييه التجربة وأجرى بعض القياسات.

وبحلول ذلك الوقت كان الزئبق الموجود في الناقوس الزجاجي قد ارتفع فوق العلامة مُزيحاً بعض الهواء الذي امتصه الكلس. وعند أخذ تغيرات درجة الحرارة والضغط في المعمل في الاعتبار، توصل حسابات لافوازييه إلى أن نحو سدس حجم

الهواء قد استُنزف، فانخفض من خمسين بوصة مكعبة إلى ما بين اثنتين وأربعين وثلاث وأربعين بوصة مكعبة. كما تغيّرت طبيعته أيضاً. عندما وُضع فأر داخل حاوية مملوءة بهذا الهواء المتبقي، وجد صعوبة في التنفس، و«عندما وضعت فيه شمعة، انطفأت كما لو أنها غمست في الماء»، وبما أن الغاز لم يرسّب ماء الجير، فلا بد أنه آزوت لا هواء ثابت.

لكنْ ما الذي أخذه الزئبق المحترق من الهواء؟ بعد أن كشط لافوازييه القشرة الحمراء التي تكوّنت على الفلزّ، عمد إلى تسخينها في مُعْوجَّة حتى تحولت إلى زئبق خالص من جديد، وأطلقت سبع أو ثماني بوصات مكعبة من الغاز، أي ما يعادل تقريباً الكمية نفسها التي امتُصّت أثناء التكليس. وبتعريض شمعة إلى هذا الغاز، اشتعلت «بتوهج شديد»، وبتعريض الفحم النباتي، فإنه بدلاً من أن يحترق دون لهب، «بعث ضوءاً ساطعاً لا تكاد العينان تحتملانه».

كانت لحظة فاصلة. الزئبق المشتعل يمتص الهواء الحيوي من الجو مخلفاً الآزوت، أما اختزال الزئبق فكان يطلق الهواء الحيوي من جديد. لقد فصل لافوازييه مكوّني الهواء الرئيسين.

وفي الختام جمع لافوازييه مجدداً بين ثمانية أجزاء من هوائه الحيوي واثنين وأربعين جزءاً من الآزوت وأثبت أن للناتج خصائص الهواء العادي؛ إنه التحليل والتركيب. وفي هذا يقول: «إليكم أتمّ نوع من البراهين مما يمكن التوصل إليه في الكيمياء،

وهو تحليل الهواء ثم إعادة تركيبه».

قرأ لافوازييه النتائج على المجمع العلمي في سنة 1777، حيث لم يكن هناك لاهوب، كان الاحتراق والتكليس يحدثان عندما تستهلك مادة معينة الهواء الحيوي (الذي سيسميه الأكسجين نظراً لدوره في تكوين الأحماض، وأكسي Oxy تعني في اليونانية «حاد»). أما الآزوت غير الصالح للتنفس الذي يتخلّف عندما يُستنفد الأكسجين من الهواء بفعل الاحتراق، فهو النيتروجين.

أما الغاز الذي كان يطلق الناس عليه اسم الهواء الثابت، فهو ناتج اتحاد الأكسجين المنبعث أثناء الاختزال مع شيء ما في الفحم النباتي حيث ينبعث ما نسميه الآن بثاني أكسيد الكربون.

ظل زملاء لافوازييه، وبالأخص بريستلي، لسنوات يشْكون أنه نسب لنفسه الفضل في عمل هم أيضاً من أنجزوه. كان بريستلي قد تناول العشاء مع آل لافوازييه فحدثهما عما يسميه الهواء منزوع اللاهوب، وكان الصيدلاني السويدي شيله قد أرسل إلى لافوازييه خطاباً يصف فيه عمله، لقد ظلا طوال الوقت ينظران إلى الأكسجين كهواء خالٍ من اللاهوب.

وفي مسرحيتهما «أكسجين»، التي عرضت لأول مرة في سنة 2001، يتخيل كيميائيان هما كارل جيراسي (Carl Djerassi) وروولد هوفمان (Roald Hoffmann) هؤلاء العلماء الثلاثة وقد استدعاهم ملك السويد إلى ستوكهولم ليقرر من يستحق التقدير بوصفه

المكتشف الحقيقي. كان شيله أول من استخلص الغاز، وبريستلي أول من نشر كلمة عن وجوده، لكن لافوازييه هو الوحيد الذي فهم وأدرك ما وَجد.

توصّل لافوازييه أيضاً إلى شيء آخر أعمق وهو قانون بقاء الكتلة. فعند حدوث أي تفاعل كيميائي، تتغير هيئة المادة (الزئبق المشتعل، الهواء المغيَّر)، لكن الكتلة لا تفنى ولا تُستحدث من عدم، فالمقدار نفسه الذي يدخل المعادلة يجب أن يخرج من الطرف الآخر، أو كما يقول جباة الضرائب: لا بد أن يتوازن جانبا الحساب في الدفاتر.

في سنة 1794، إبّان ما يسمى بعهد الإرهاب، أُدين لافوازييه وأبو ماري آن، بالإضافة إلى ملتزمين آخرين، بمعاداة الدولة وحملوا على عربة إلى ميدان الثورة حيث كانت قد نُصبت منصة خشبية في مثل مهابة المنصة التي أحرق عليها لافوازييه الماس ذات يوم، ولكن بدلاً من العدسات العملاقة، كان هناك مثال آخر للتكنولوجيا الفرنسية ألا وهو المقصلة.

ثمة قصة تُتداول على الإنترنت منذ فترة وتؤكد أن لافوازييه رتّب قبل إعدامه لإجراء تجربة أخيرة. فقد كان يُروَّج للمقصلة في فرنسا باعتبارها وسيلة شديدة الإنسانية من وسائل الإعدام تحدث موتاً فوريًّا بلا ألم، وها قد حانت الفرصة لاكتشاف حقيقة الأمر. فما أن يحس لافوازييه بحد المقصلة يمس عنقه، سيطرف بعينيه أكبر

عدد ممكن من المرات. وكان يقف بين الحشود مساعد له يحصي طرفات عينيه. لعل هذه القصة غير حقيقية، لكنها تتواءم تماماً مع ما يمكن أن يفعله لافوازييه.

الفصل الخامس

لويجي جالفاني

كهرباء الحيوان



لويجي جالفاني

لأنه يسهل أن ينخدع المرء وهو يجري إحدى التجارب، وأن يظن أنه رأى واكتشف ما يرغب في أن يراه ويكتشفه.

- لويجي جالفاني

في منتصف القرن الثامن عشر عندما كانت الكهرباء هي البدعة السائرة، وقف عالم مبتدئ أمام الجمعية الملكية في لندن ووصف ما يجوز تسميته بقانون سِيمر، الذي ينص على أن الجوربين مختلفي

اللون يتجاذبان، وأن الجوربين متشابهي اللون يتنافران. كان المتحدث، وهو كاتب حكومي يُدعى روبرت سيمر (Robert Symmer) قد اعتاد ارتداء طبقتين من الجوارب رغبةً في الحفاظ على راحة قدميه في الشتاء. فكان يرتدي في الصباح جوربين صوفيين أسودين ويرتدي فوقهما جوربين حريريين أبيضين، ثم يعكسهما بعد الظهر. وقد رأى أثناء تبديله الجوارب أن الخامتين المختلفتين تطقطقان وتتيبسان بفعل الشحنات المتضادة، وعندها كان سيمر- الذي صار يُعرف بالفيلسوف الحافي- يسترخي في مقعده متعجباً مما يراه.

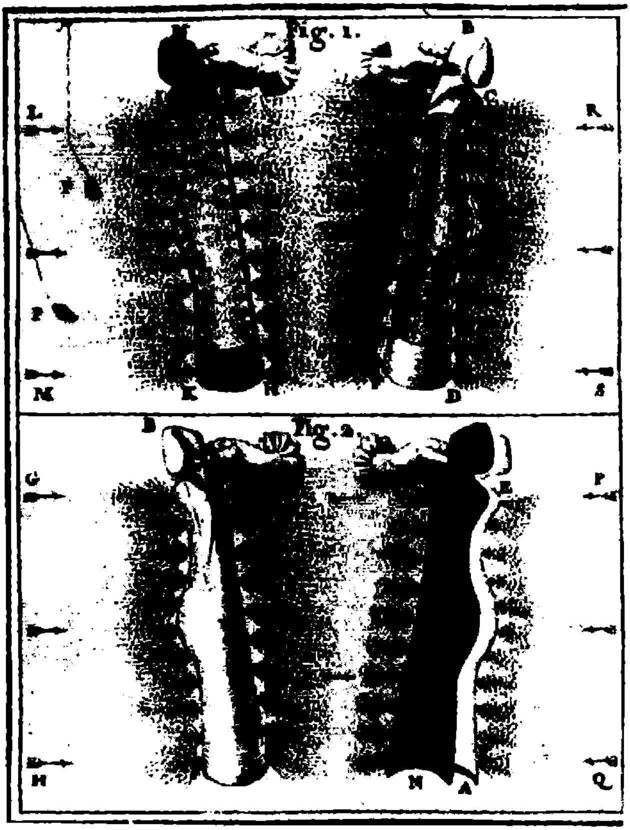
روى سيمر: «عندما تُجرى هذه التجربة باستخدام جوربين أسودين في يد وجوربين أبيضين في أخرى، يحدث مشهد غريب جدّاً، حيث يتنافر الجوربان متشابها اللون ويتجاذب الجوربان مختلفا اللون على نحو تضطرب معه الجوارب في مشهد لا يخلو من المتعة».

كان ذلك ذروة العصر الرومانسي في البحوث الكهربائية في ظل جدال العلماء حول ما إذا كانت الكهرباء بخاراً أو سائلاً أو حتى «جزيئات لطيفة» كما تكهن بنجامين فرانكلين (Benjamin Franklin). كان العارضون العلماء (يُسمَّون «كهربائيين») يلفّون عجلات مولداتهم التي تولّد الكهرباء الساكنة (وهي أقراص وكرات دوّارة كبيرة تُدلّك لإنتاج شحنة كهربائية) فيبعثون

موجات صدمية تنتقل من يد إلى يد عبر سلسلة من البشر. علّق رجلاً في كرسيٍّ بحبال حريرية (لمنعه من التأرُّض) وسيكون بإمكانك أن تجعل رأسه تتوهج كالهالة الذهبية التي تحيط بصور القديسين. واختر من بين الجمهور امرأة شابة وأعطها شحنة، وستكهرب خطيبها بقبلة لا تنسى. إنه اتصال الموجب بالسالب.

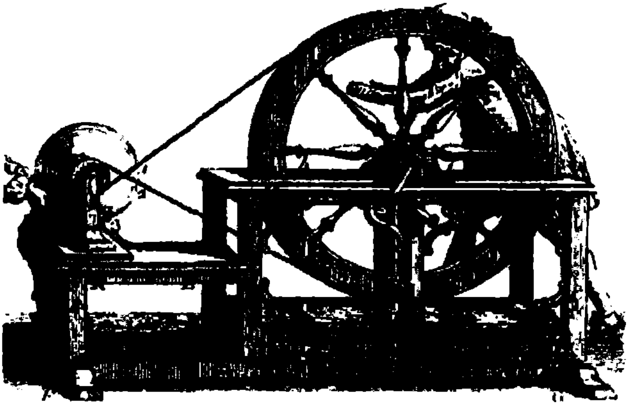
على الرغم من أن الكهرباء بدت شيئاً شبحيّاً، فإنها كانت ملموسة بدرجة تكفي لتخزينها في قارورة. عند تغليف هذا الوعاء من الداخل والخارج بقطعتين من الرقائق المعدنية متصلتين بقطبين متضادين بمولد احتكاكي، يكتسب شحنة (سالبة على أحد جانبيه وموجبة على الجانب الآخر) تمكث فترة طويلة بعد إزالة السلكين. أما لمس كلا جانبي هذا المكثِّف البدائي المسمى قارورة لَيْدِن (Leyden jar) فكان أشبه بلدغة الأنقليس.

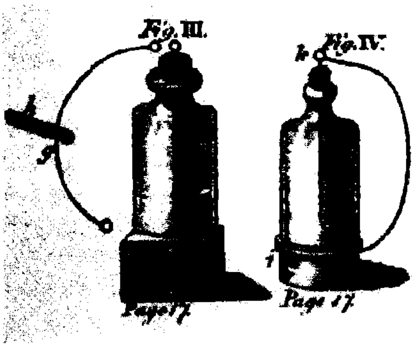
اختلطت الحقيقة التجريبية بالخيال فيما كان العلماء يقلّبون الرأي في الروايات التي تتحدث عن البرق وتسبُّبِه عفويًّا في شفاء المعاقين وتمكينهم من السير أو إسراعه بمعدل نمو النباتات. تكهن جوزيف بريستلي بأن الكهرباء تُنتَج في المخ، وراح يقترح أنها مسؤولة عن الحركة العضلية... وعن لمعان ريش طائر الدَّرّاء وألوانه النابضة بالحياة والضوء الذي «يقال إنه ينبعث من بعض الحيوانات» عندما تطوف بحثاً عن طرائدها ليلاً بل وينبعث من البشر «ذوي الأمزجة المعينة خصوصاً في بعض المناسبات غير العادية».



جوارب سيمر. صورة من بحث لجان أنطوان نوليه،
رئيس دير وفيزيائي فرنسي

وظن آخرون أن سائلاً «عصبيّاً كهربائيّاً» من نوع ما يُفرَز في الجسم بالاحتكاك. لقد كانت هذه فكرة مذهلة، حيث تحتك الأعصاب والعظام- مثلها في ذلك مثل جوارب سيمر- بالعضلات فتولد القوة الحيوية، ألا وهي الكهرباء.





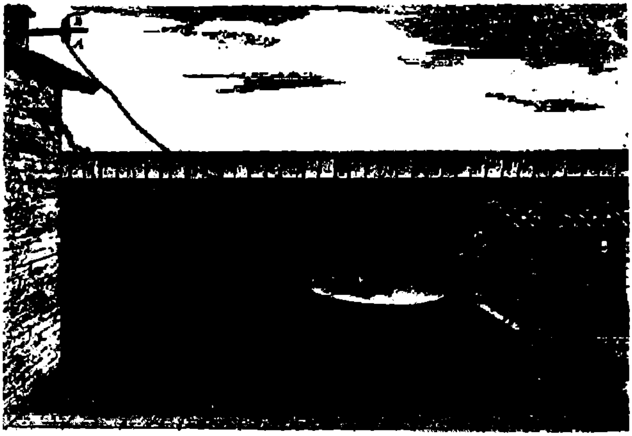
مولد كهرباء ساكنة من القرن الثامن عشر
ورسم لبنجامين فرانكلين لاثنتين من قوارير ليْدن

في إحدى أمسيات شهر أبريل في سنة 1786، بعد اكتشاف سيمر بأكثر من ربع قرن، سار أستاذ التشريح البالغ من العمر منتصفه لويجي جالفاني (Luigi Galvani) متجهاً إلى إحدى شرفات قصر زامبوني بالقرب من بيته في بولونيا حاملاً لفافة أسلاك معدنية وأرجل ضفدع مُعدَّة- كما كان يقول في كثير من الأحيان-

«بالطريقة المعتادة»، حيث كانت مفصولة عند النخاع الشوكي وتتدلى منها الأعصاب الوَرِكِيّة.

ومع تجمع السحب جهة الجنوب، وضع جالفاني عيّنته مقطوعة الرأس على طاولة وأوصلها بحبل غسيل معدني كان قد مدّه فوق مستوى رأسه، ثم انتظر عاصفة رعدية ليراقب الرِّجلين وهما تنتفضان استجابةً للبرق كما لو كانتا تحذران من الرعد المقبل.

TABLE II



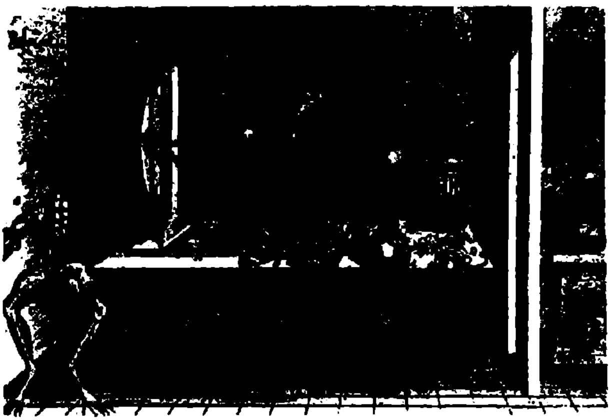
الانقباضات العضلية الناجمة عن البرق. صورة من أطروحة جالفاني «شرح لتأثير الكهرباء على الحركة العضلية»

كان جالفاني قد أنتج على مر السنين آثاراً مماثلة في معمله، حيث كان يحفز أعصاب الضفدع بكهرباء آتية من مولد أو قارورة ليدن. وقد أكد له البيان العملي الذي أجراه فوق قصر زامبوني أن

الكهرباء «الطبيعية» تُحدث رد الفعل الفسيولوجي نفسه الذي تنتجه الكهرباء «المصطنعة»، حيث كانت تحرك العضلات بطريقة أو بأخرى.

لكن كانت هناك تجربة وجد جالفاني صعوبة في تفسيرها. فقبل ذلك بسنوات عدة، أكد أن لمس أحد مساعديه بمبضع عصب ضفدع مكشوف في الوقت نفسه الذي أحدث فيه مساعد ثانٍ، يعمل قريباً منه بمولّد، شرارةً صغيرة. لم تكن هناك أسلاك ممتدة من الآلة إلى الحيوان المشرّح، لكن رجلي الحيوان انقبضتا بعنف كما لو كان مصاباً بالتشنج، وقد عكف جالفاني على تفسير هذه الظاهرة منذ ذلك الحين.

TABLE I



الكهرباء الساكنة ورجلا ضفدع

في البداية، أثبت أن الاستجابة ليست ناشئة عن مجرد استثارة من المبضع. بعد أن تأكد من توقف المولّد عن العمل، ضغط على العصب بمُدية معدنية، فظلت العضلات راقدة بلا حراك مهما كرر جسّه إياها، فبدا له بوضوح أن هذا الأثر كهربائيٌّ.

أظهرت تجارب أخرى أن الأسطوانة الحديدية، لا القضيب الزجاجي، تلتقط الشرارة وتجعل الرجلين تنتفضان. لكنه وجد، في بعض الأحيان، أن المبضع المعدني أيضاً لا يثير استجابة. وسرعان ما أدرك جالفاني أن هذه الإخفاقات تحدث عندما يمسك الأداة بمقبضها العظمي دون لمس مسامير البرشام أو المدية. فعلى نحو ما، بدا المجرِّب نفسه جزءاً من رد الفعل. لاختبار هذه الفرضية، وضع جالفاني الأسطوانة المعدنية بمفردها على الطاولة حيث كانت تلمس العصب، ثم أدار المولد، فظلت الرجل بلا حراك.

خطوة بخطوة، استبعد جالفاني المتغيرات. فإذا أوصل العصب بسلك معدني طويل بدلاً من أسطوانة قصيرة، كان حدوث شرارة بعيدة يجعل الرجلين تنتفضان. بدأ الموقف يتضح بعض الشيء، كان العلماء يعرفون من قبل أن من الممكن أن تحدث الكهرباء تأثيرها عن بُعد، حيث كان الشعر النابت على رقبة الإنسان ينتصب عندما يقصف برق على مقربة منه. وكان تدوير المولّد يسبب تراكم جهد في الهواء، وهو ما يسمى «الجو الكهربائي»، فيصبح ماسك المبضع والمبضع نفسه بمثابة هوائي ما (أشبه بمانعة صواعق) يُفرغ نفسه

من خلال الضفدع.

خطر ببال جالفاني احتمال أن يكون ما يحدث شيء أغرب من ذلك. إذا كان الضفدع يستجيب فحسب لكهرباء مصطنعة منقولة في الهواء، فينبغي أن تتوقف شدة الارتعاش على قرب الشرارة. أوصل جالفاني خطافاً معدنيّاً بالنخاع الشوكي لضفدع وأوصل بالخطاف قطعة من السلك وكرر التجربة على مسافات متفاوتة، حتى وصلت المسافة بين الضفدع والمولد إلى 150 قدماً. كان رد الفعل قويّاً كأي وقت آخر، حتى عندما حجب الرِّجلين داخل أسطوانة قصديرية أو عزلهما في حجرة تفريغ. بدا أن هذه التغييرات، واحداً بعد الآخر، تشير إلى ما صار جالفاني يعتقده بالغريزة، وهو أن الكهرباء التي تنتجها الآلة ليست السبب الرئيس في الوثب، وما هي إلا منبه ينبه «كهرباء حيوانية» موجودة بشكل طبيعي وتسري خلال الأعصاب.

كان جالفاني يعلم كم من السهل أن يخدع المجرِّب نفسه ليرى ما يريد أن يرى، ومن ثم أخذ يطوف حول طريدته بحذر. وفي مطلع سبتمبر وبعد تجربته التي أجراها في قصر زامبوني بعدة أشهر، أخذ جالفاني العديد من ضفادعه المبتورة وعلقها بخطافات معدنية من درابزون حديدي في شرفته. لم يكن هناك هذه المرة برق ولا مولدات تطلق شرراً، لكن الأرجل انتفضت على الرغم من ذلك.

استنتج جالفاني استحالة أن يكون المعدن هو مصدر الكهرباء؛

لأن موصلاً واحداً (الخطاف والدرابزون) لا يمكن أن يحمل شحنة، وإنشاء جهد كهربائي يتطلب إبعاد السالب عن الموجب بحرص، كما في قارورة ليدن. أما الشيء الذي كان يصعب إغفاله فهو احتمال أن تكون الكهرباء الجوية «انسلت إلى الحيوان وتراكمت» بطريقة ما، وأنها تندفع خارجةً عندما يلامس الخطاف الدرابزون. كانت السماء صافية ذلك اليوم، لكن جالفاني أراد استبعاد هذا الاحتمال.

التقط جالفاني بإحدى يديه ضفدعاً وعلقه من الخطاف المغروس فيه، حيث كانت الرجل تلمس سطح صندوق فضّي، وأمسك بقطعة معدن في يده الأخرى ولمس بها السطح اللامع نفسه، فاكتملت الدائرة ووثب الضفدع. وحدث الشيء نفسه عندما أمسك بالضفدع من جذعه حيث كان كلٌّ من الخطاف وإحدى قدمي الضفدع يمس الموصل المسطح مسّاً رقيقاً. «في اللحظة ذاتها التي لمست فيها القدم السطح، انقبضت عضلات الرِّجل فرفعت الرجل عالياً». وعندما نزلت الرجل مجدداً إلى السطح، انقبضت من جديد... ومن جديد، كان الضفدع يثب ويثب حتى نفدت طاقته. فأي شيء يمكن أن يكون هذا غير كهرباء حيوانية؟

نشر جالفاني في سنة 1791 النتائج التي توصل إليها في أطروحة بعنوان «شرح لتأثير الكهرباء على الحركة العضلية» (De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius)، افترض فيها

أن عضلة الضفدع تشبه قارورة ليدن، حيث تختزن وتفرّغ نوعاً ما من الكهرباء العضوية. وبعد أن وصف تجاربه وحلل النتائج بدقة، سمح لنفسه بالتكهن، فافترض أن كهرباء زائدة في البشر ربما تكون سبباً في التململ والتورّد أو- في حال المواقف المتطرفة- في النوبات الصرعية. ثم جازف لوهلة بالخروج عن مجال خبرته، فافترض احتمال وجود علاقة ما بين البرق والزلازل، ثم استدرك قائلاً: «لكن دعونا نضع حدّاً لهذه التخمينات!». لقد كان يأمل في أن يتقصّى ذات يوم ما إن كانت الكهرباء ضالعة في كل أنواع الوظائف البدنية، وفي هذا يقول: «فيما يتعلق بدوران الدم وإفراز الأخلاط، فهذه الأشياء سننشرها بأسرع ما يمكن في شرح آخر عندما يتاح لنا المزيد من وقت الفراغ».

في البداية، أعجب ألسياندرو فولتا (Alessandro Volta)، أحد أعظم الكهربائيين في أوروبا، باكتشاف جالفاني، مُعلناً أن هذه التجارب وضعت الكهرباء الحيوانية «بين الحقائق المثبتة»، ثم شرع بكِياسة يفكك نظرية الرَّجل عنصراً عنصراً.

اتخذ فولتا لتجربته ضفدعاً كاملاً وحاول لمس ظهره بشريط من المعدن ولمس رجله بعملة معدنية أو بمفتاح، ثم أغلق القوس بتوصيل طرفي المِجَسّين، فكانت النتيجة «الانقباضات والتقلّصات والرعشات نفسها» التي تحدث عنها جالفاني، لكن ذلك لم يكن يحدث إلا إذا استَخدم نوعين مختلفين من المعادن.

كان جالفاني قد أفاد في تجاربه التي أجراها بأن استعمال «قوس ثنائي المعدن» يضخم الانقباضات فيما يبدو، لكنه اعتبر هذه المعلومة ثانوية وتصرف الانتباه عما هو أهم. في البداية، كان لدى فولتا الميل نفسه، حيث افترض أن توليفة المعدنين استحثّت على نحو ما سريان كهرباء الضفدع وهي تندفع خلال الدائرة المكتملة، لكنه ألقى عندئذ نظرة أكثر قُرباً.

بعد أن كشف فولتا عن عصب وركيّ، أوصل به مشبكين دقيقين أشبه بحلقتين؛ أحدهما من القصدير والآخر من الفضة، تاركاً فجوة صغيرة فيما بينهما. وفي لحظة إغلاقه الدائرة (بإحداث تلامس بين المشبكين أو مد قنطرة سلكية بينهما)، انتفض طرف الحيوان. ثم أنتج أثراً مماثلاً باستخدام القصدير والنحاس الأصفر. أخذ فولتا يعتقد أن قوس التوصيل ليس مجرد وصلة خامدة تُفرّغ أو حتى تسرّع الكهرباء الحيوانية، بل هو مصدر الطاقة الفعلي. وعندما تنتفض رجل الضفدع، تكون بمثابة مؤشر عدّاد شديد الحساسية يدل على وجود ظاهرة مكتشفة حديثاً وهي الكهرباء ثنائية المعدن. وقد كتب فولتا إلى أحد زملائه قائلاً: «نظرية جالفاني وتفسيراته... فقدت الأهلية إلى حدٍ كبير، والصّرح بأكمله مهدد بالانهيار».

عندما وثب ضفدع جالفاني على غطاء صندوق فضي، كان ذلك مجرد رد فعل للصدمات الكهربائية. كان استنتاج فولتا مهذباً بقدر ما كان قاسياً: «فإذا كان هذا هو واقع الأشياء، فماذا يتبقى

من الكهرباء الحيوانية التي يدعيها جالفاني وتثبتها في الظاهر تجاربه شديدة الدقة؟»

سارع جالفاني إلى قبول التحدي. صحيح أنه استخدم خطافات نحاسية لتعليق أرجل الضفادع من درابزون حديدي، لكن لا ضرورة لأن يكون القوس ثنائي المعدن، حيث أفاد عن نتائج مماثلة عند استخدام خطافات حديدية. عاد جالفاني إلى المعمل وأثبت هو ومعاونوه قدرتهم على إحداث التشنّجات بلمس عضلة وعصب في آنٍ واحدٍ بقطعتي معدن متطابقتين بشكل واضح.

كان فولتا جاهزاً بإجابة. فقطعة المعدن قد تبدو مطابقة، لكنها تحتوي حتماً على شوائب أو اختلافات غير ملحوظة من شأنها أن تولّد الكهرباء.

وهكذا عاد الجالفانيون إلى المعمل فابتكروا بيانات عملية متقنة يتألف فيها قوس التوصيل من وعاء زجاجي مملوء بزئبق خالص، ووضعوا على سطح هذا الزئبق عضلة مشرّحة؛ نخاعها الشوكي متدلٍّ من خيط حريري، وأنزلوا الخيط حتى لامس العصبُ الزئبقَ، فانتفضت العضلة فجأة.

أصرّ فولتا على أن الشوائب هي السبب. فإذا تحركت العضلة، فلا بدّ أنه كان هناك اختلافات في المعدن. وهكذا كان يسوق حجة دائرية يستحيل تفنيدها.

لقد وصل الرجلان إلى طريق مسدود. فبالنسبة لأحدهما، كان

الضفدع يولد كهرباء وتسري هذه الكهرباء خلال القوس المعدني. وبالنسبة للآخر، كان القوس يولد كهرباء وتسري هذه الكهرباء خلال الضفدع.

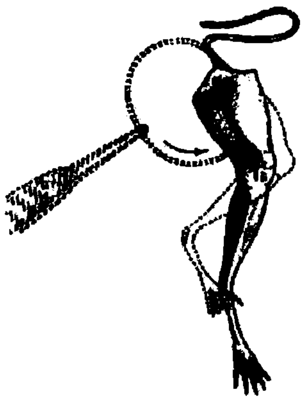
كان الملاذ الوحيد أمام الجالفانيين استبعاد المعدن من الدائرة، حيث أثبت أحد المجربين أن قطعة من الكربون تؤدي الغرض تماماً. «فلماذا إذن ننسب إلى قوة الفلزات المختلفة آثاراً يمكن أن تُحدثها أجسام لا تتسم يقيناً بأي شيء من الطبيعة الفلزية؟» أصرّ فولتا على أن هذه التجربة لا تثبت شيئاً بما أن الكربون في النهاية يُعَدُّ مادة موصلة.

أثبت مجرّب آخر إمكانية إحداث الاستجابة الجالفانية بمجرد لمس عضلة الضفدع بإحدى يديه وعصب الحيوان المفصول بالأخرى. «كلما ألمس الضفدع، ينط ويقفز، بل يمكنني القول إنه يفلت مني». بدت النتيجة واضحة وهي أن «الفلزات ليست القوى المحركة للكهرباء.... فهي لا تمتلك قوة سحرية غامضة».

وفي التجربة التي بدا أنها الأكثر إقناعاً حتى ذلك الحين، استبعد جالفاني الموصلات الخارجية تماماً، مُكتفياً بمعالجة الضفدع المشرح بيده برفق حتى حدث تماس مباشر بين العصب الوركي المدلى والعضلة المتحكمة في الرجل، فصدرت منها رفسة على الفور. فمن أين جاءت الكهرباء إلا من الحيوان نفسه؟

الآن، وقد بات جالفاني واثقاً من نفسه، تهكم على فولتا مستخدماً كلماته التي جاءت على لسانه: «لكن، إذا ما كانت هذه هي الحال، وإذا كانت هذه الكهرباء في الحقيقة خاصة بالحيوان بأكملها وليست عمومية وخارجية، فماذا سيكون رأي السيد فولتا؟»

كان يجب أن يغيّره بكل تأكيد. بحلول ذلك الوقت بدأ فولتا ينظر إلى العضلة والعصب ويَدَي المجرب، بل إلى الضفدع نفسه، باعتبارها موصِّلات ضعيفة من «الدرجة الثانية». وسواء أَمُسّ العصب بعضلة أم بفضة أم بنحاس أصفر فالنتيجة واحدة، وهي أن الموصلات المتباينة تنتج ما كان يسميه آنذاك الكهرباء التلامسية.



تجربة جالفاني دون موصلات خارجية

في تجارب جالفاني السابقة، كان هناك زوجان من موصلات الدرجة الأولى (من مباضع معدنية، وخطافات نحاس أصفر،

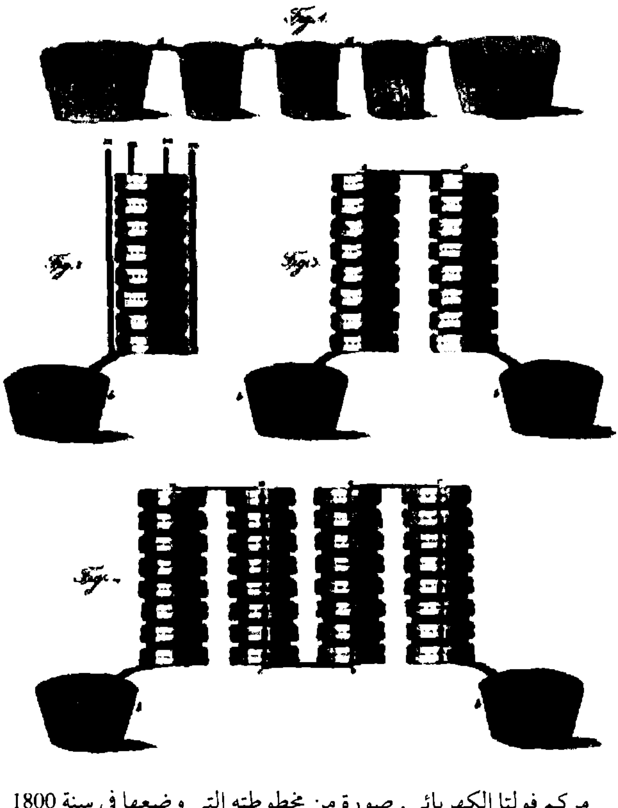
وأغطية صناديق فضية) جميعها مفصولة بموصل رطب من الدرجة الثانية وهو الضفدع. ولربما استخدم أيضاً ورقة مقوّاة مبللة أو– كما راح فولتا ليُثْبت– لساناً بشرياً. ضع قطعة عملة فضية فوق لسانك وقطعة نحاسية تحته، ويمكنك أن تتذوق الكهرباء. أما التجارب المشتملة على معدن واحد فقد فُسّرت بالسهولة نفسها، حيث شكّل موصل واحد من الدرجة الأولى قوساً بين موصليْ الدرجة الثانية وهما العصب والعضلة. ويمكنك أخيراً أن تصنع قوساً من موصلين طريَّيْن من الدرجة الثانية وهما يدٌ وضفدع. فلا يهم أكانت الموصلات عضوية أم غير عضوية، ما دام هناك اختلاف.

أما الآن، فنحن نعرف أن كلتا الرجلين كانت مصيبة، وكلتاهما أثبتت ذلك بتجربة رائعة.

في البداية كان فولتا. فقد أخذ بضع عشرات من الأقراص نصفها من النحاس ونصفها الآخر من الزنك، ورَكَمها واحدة فوق الأخرى مع التناوب بين المعدنين والفصل بينها بمباعدات دائرية من الورق المقوى التي سبق غمسها في ماء ملحي، ولو أنه جعل الرُّكام عالياً بدرجة كافية، لاستطاع أن يصدم نفسه صدمة خفيفة. وكان بإمكانه أيضاً أن يستعمل الفضة والقصدير، أو يستبدل بالورق المقوى كوبين صغيرين مملوءتين بالماء الملحي ومرتبطين معا بقطبين كهربائيين ثنائيي المعدن.

لقد اخترع البطارية، وبدا عنوان بحثه الذي نُشر في سنة 1800

مُفصِحاً عن كل شيء: «حول الكهرباء المستثارة بمجرد تلامس مواد موصِّلة من أنواع مختلفة» (*On the Electricity Excited by the Mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds*). لم يكن ضفدع جالفاني إلا فاصل رطب في «مِرْكم فولتا».



مركم فولتا الكهربائي. صورة من مخطوطته التي وضعها في سنة 1800

لكن التجربة التي توّج بها جالفاني تجاربه كانت بمثل روعة تجربة فولتا، حيث أعدّ ضفدعاً آخر من ضفادعه «بالطريقة المعتادة» على نحو يكون فيه العصب الرئيس لكلتا الرجلين بارزاً. كان جالفاني قد أحدث تماسّاً مباشراً بين العصب والعضلة في تجربته السابقة. أما هذه المرة، وباستخدام قضيب زجاجي صغير، فقد مس عصباً بآخر، أي موصّلين متطابقين، فكانت النتيجة حدوث انقباض، وهو ما لم يكن ليحدث إذا اكتفى بتحريض العصب الثاني بقطعة الزجاج. تساءل جالفاني: «ما الاختلاف الذي يمكن الاستشهاد به الآن لتفسير هذه الانقباضات؛ وذلك أن التلامس حادث بين العصبين وحدهما؟» وردّ على نفسه مؤكداً: «ما حدثت هذه النتيجة إلا بفعل دائرة كهربائية فطرية في الحيوان».

كانت التجربتان تُكمّل إحداهما الأخرى- على الرغم من أن أيّاً من الرجلين لم تتبيّن هذا تماماً- لأنهما كانتا تحومان حول حقيقة واحدة. الكهرباء هي الكهرباء، سواء أكانت طبيعية أم مصطنعة أم حيوانية. لم يدرك فولتا أن ما كان يراه عن طريق «كهربائه التلامسية» إنما هو تفاعل كيميائي (الواقع أنه ظن أن بطاريته مصدر حركة سرمدية)، أما جالفاني فقد تشبث بفكرة وجود شيء مختلف بطبيعته في الكهرباء البيولوجية.

ستمضي سنوات قبل أن يشرح الفسيولوجيون تفاصيل ما لمحه جالفاني في ضفادعه بتحريضٍ من فولتا، ومفاده كيف أن

كل خلية مجهرية، في أي كائن حي، تعمل كبطارية صغيرة، حيث تقوم الأغشية بدور مباعدات الورق المقوى وتلعب الأيونات دور أقراص الزنك والنحاس. أما ما يَنتُج، فهو تجاذب السالب والموجب؛ هو القوة الدافعة الكهربائية التي تسمّى فلطية. فعندما تتحرك عضلة أو يلمس إصبع سطح حجر، يسري تيار خلال الجهاز العصبي. ومن ثم فليس هناك ما يسمى «قوة حيوية» أثيرية، فما الحياة إلا كيمياء كهربائية.

الفصل السادس

مايكل فاراداي

شيء دفين في العمق



مايكل فاراداي

لن أنظر أبداً إلى ومضات البرق دون أن أتذكر شعوره بالبهجة في أثناء هبوب عاصفة ممتعة. كان يقف أمام النافذة بالساعات يشاهد آثارها ويستمتع بالمشهد، في الوقت الذي كنا نعلم فيه أن عقله مشحون بأفكار سامية؛ عن الخالق الأعظم أحياناً، وعن القوانين التي يقضي باجتماعها لتحكم الأرض أحياناً أخرى.

- مارجريت ريد (Margaret Reid) ابنة أخت مايكل فاراداي

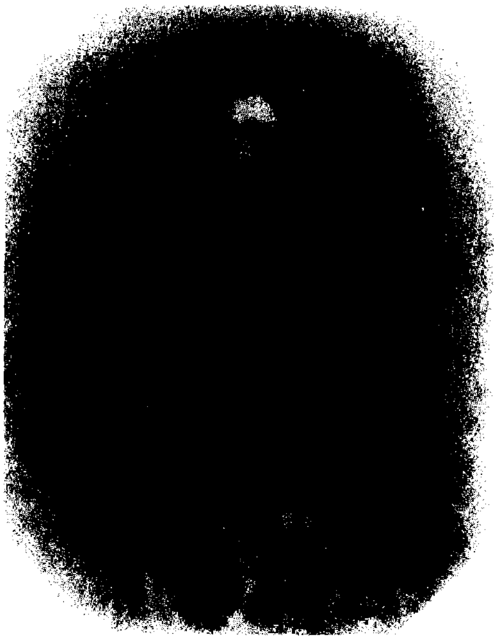
الشرارة: ذلك النجم الضوئي المتألق الذي يُحدثه تفريغ بطارية فُلطائية، ومعروفٌ للجميع بأنه أجمل ضوء يمكن للإنسان إحداثه بالحيلة.

- مايكل فاراداي في «أبحاث تجريبية في الكهرباء»

كان الجميع يعلمون أن آدا لَفْليس (Ada Lovelace)، ابنة الشاعر بايرون (Byron)، مصدرَ إزعاج، حيث وُلدت وبها مسحة من الجموح، وقد حاولت أمها أن تخمد هذا الجموح بشغل عقلها بالرياضيات. لم يكن العلاج ناجعاً تماماً، حيث حاولت الفرار مع أحد معلميها الخصوصيين. أمسك بها، وروّضت وزوّجت رجلاً نبيلاً، لكنها فضّلت صحبة العلماء. وكان المخترع تشارلز بابدج (Charles Babbage) واحداً من زمرتها، وقد سمّاها «ساحرة الأرقام». أما هي فسمّت نفسها «عروس العلم». كانت آدا مهووسة بالأفكار الجديدة، كعلم قيافة الدماغ[1] والتنويم المغناطيسي و«حساب تفاضل وتكامل الجهاز العصبي». وفي سنة 1844، في الثامنة والعشرين من عمرها، أقامت علاقة غزل بالمراسلة مع أعظم مجرّبي إنجلترا مايكل فاراداي (Michael Faraday)، مُقترحة عليه أن تكون ملهمته و«سيدته الجميلة».

سأكون الطيف الجميل الذي يتألق جمالاً وفصاحة عندما تأمرني. لكنني سأكون الآن طائراً بُنيّاً وديعاً صغيراً بجانبك وأدَعُك تعلّمني برفق كيف أتعلّم وأساعدك. لكن عصاي السحرية هي عصاك بكل سرور، أضعها بين يديك تستخدمها كيفما تشاء.

(1) phrenology، أي تقدير شخصية المرء وقواه العقلية من شكل جمجمته– المترجم.



الليدي آدا لفليس

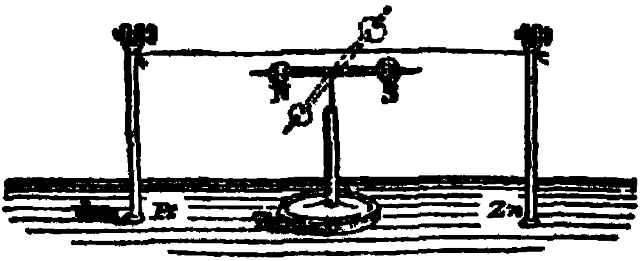
من الصعب أن نعرف من ردود فاراداي الحذرة، ما كان يجول بباله حيال مشاعرها المتدفقة التي عبرت عنها بكلماتها. كان يبلغ من العمر آنذاك ثلاثاً وخمسين سنة، وكان متزوجاً، مسيحيّاً تقيّاً، وفي طور التعافي مما نسميه الآن انهياراً عصبيّاً. أما معظم أعماله العظيمة، أعني التجارب التي تجمع بين الكهرباء والمغناطيسية، فكانت وراء ظهره. ولعل إطراء آدا هو الذي دفعه إلى أن يمضي خطوة أبعد من ذلك ويثبت بتجربة رائعة أن الكهرمغناطيسية ذاتها

مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالضوء.

كانا الاثنان ينتميان إلى عالمين مختلفين. فاراداي ابنُ حدادٍ وصبيٌّ متمرّن عند مُجلِّد كتب، وكان قد أقنع الكيميائي الإنجليزي العظيم همفري ديفي (Humphry Davy) باتخاذه سكرتيراً ومساعداً. اشتملت واجباته في البداية على العمل كخادم خصوصي لديفي، فسافر معه إلى أوروبا والتقى أمثال فولتا وأندريه ماري أمبير (André–Marie Ampère). وبعد أن عُيِّن فاراداي مساعداً في المؤسسة الملكية (Royal Institution) في لندن، بدأ في مباشرة مهام وظيفتِه العلمية، فكان يحلل الصلصال لشركة وِدجوود Wedgwood لصناعة الخزف والصيني، والبارود لشركة الهند الشرقية، ويدرس العمليات الصناعية في مسابك المعادن في ويلز. وعندما كان في مثل عُمر مراسِلته الشابة، طلبت منه إحدى شركات التأمين إعداد تقرير عن قابلية اشتعال زيت الحوت، وطلبت وزارة البحرية البريطانية منه تقريراً حول أفضل الطرق لتجفيف اللحم. وفي ذلك الوقت، أي في أواخر سنة 1820، جاءه ديفي بأنباء مثيرة من عالم دنمركي هو هانز كريستيان أورستد (Hans Christian Oersted).

كان أورستد قد صنع بطارية فلطائية بمَلء عشرين وعاء بحمض مخفّف وتوصيلها على التوالي بقطع من النحاس والزنك، ثم توصيل أحد قطبي الجهاز بسلك طويل ووضعه فوق بوصلة

بالتوازي مع الإبرة. وبمجرد أن لَمَسَ بطرف السلك الآخر قطبَ البطارية المضاد، أشارت إبرة البوصلة في اتجاه الغرب، وإذا وضع السلك تحت البوصلة، أشارت الإبرة في اتجاه الشرق.



تجربة أورستد

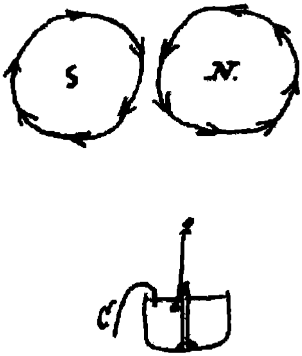
بعد أن تغلب ديفي وفاراداي على شعورهما بعدم التصديق، هُرعا إلى تكرار التجربة، في حين أثبت أمبير، الذي كان يعمل في باريس، أن السلكين المتوازيين اللذين يسري فيهما تيار في الاتجاه نفسه يتجاذبان كمغناطيسين، وإذا عُكس أحد التيارين، فإن السلكين يتنافران.

لقد كانت هذه العلاقة شديدة الوضوح بين المغناطيسية والكهرباء مدهشة تماماً. والأمر المذهل هو وجود قوة تستطيع التحرك في دوائر بدلاً من خطوط مستقيمة (وهو ما سمّاه أحد العلماء «الكهرباء الدُّوَاريّة»). وذلك أمر لم تتنبّأ به الميكانيكا النيوتنية. فمضى فاراداي ليثبت أن في وسعه بجهاز بدائي يستخدم

الزئبق وقطعة من الفلين أن يجعل سلكاً مكهرباً يدور حول مغناطيس، أو مغناطيساً يدور حول سلك مكهرب. لقد اخترع الموتور الكهربائي، فلو شكّل سلكاً على هيئة حلقة ووصله ببطارية لصار مغناطيساً ضعيفاً، ولو لف السلك على هيئة لولب لازدادت القوة المغناطيسية، وتركزت داخل مركز الملف.

مكّنته بضع تجارب بارعة من احتلال صدارة العلوم الأوروبية؛ وعند تلك المرحلة، ترك هذه الأشياء بعض الوقت. أما العقد التالي، فكان عقداً هيمن عليه ميتالورجيا الفولاذ والنحاس وتصنيع الزجاج، وهي الأمور التي عُني بها العصر الصناعي. وقد أسف فاراداي، في خطاب أرسله إلى أمبير، لأيامه الكثيرة التي «أمضاها في وظيفة عادية» بدلاً من الأبحاث التي يحبّها. ووجد وقتاً يقضيه في الأنشطة الإبداعية؛ فدرس الأنماط المتموجة أو «التموجات» التي تظهر عندما ينثر طبقة رقيقة من الرمل أو المسحوق على سطح صفيحة معدنية ويهز حافتها بقوس كمان. فكان إذا ما وضع صفيحة ثانية قريباً من الأولى وعليها مسحوق، كانت تهتز معها فيما يشبه المشاركة الوجدانية. كما أجرى تجارب على السوائل، وكتب عن ذلك: «كان الزئبق الموضوع على صفيحة من القصدير- تهتز في ضوء الشمس- يعطي آثار انعكاس جميلة»، وهو أسلوب يبدو أشبه قليلاً بأسلوب نيوتن. «بدا الحبر والماء وهما يهتزان في ضوء الشمس غايةً في الجمال»، ولم يعد فاراداي في نهاية المطاف إلى ملفاته

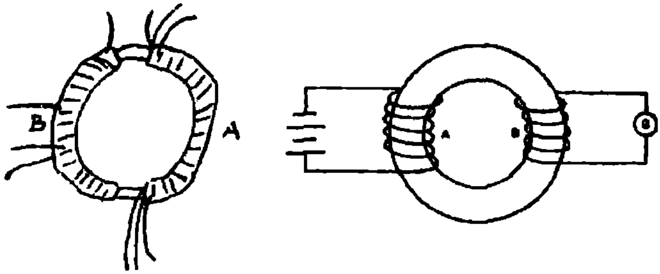
وبطارياته حتى سنة 1831.



سلك يدور حول مغناطيس (من يوميات فاراداي)

بحلول ذلك الوقت، كان الكهربائي الإنجليزي ولْيم ستيرجون (William Sturgeon) قد لفّ سلكاً عارياً حول قلب حديدي مطليّ بالورنيش ليصنع مغناطيساً كهربائيّاً قويّاً بما يكفي للإمساك بشيء أثقل من وزنه. باستخدام سلك معزول، صنع الأمريكي جوزيف هنري (Joseph Henry) مغناطيساً كهربائيّاً قادراً على حمل أكثر من طن. وذات يوم من أيام الصيف، قرّر فاراداي رؤية ما سيحدث إذا وضع ملفين متقاربين، فطلب من الورشة الموجودة بالمؤسسة الملكية تشكيل إطار حديدي حلقيّ بسمك سبعة أثمان بوصة وقطر ست بوصات، ثم لف حول أحد جانبي الحلقة اثنتين وسبعين قدماً من السلك النحاسي المعزول بخيط مجدول وقماش الكاليكو،

وسماه الملف A، ولفّ على الجانب الآخر من الحلقة نحو ستين قدماً من السلك ليصبح لديه الملف B.



رسمان وضعهما فاراداي لحلقة الحثّ

لم يكن هناك اتصال مباشر بين ملف وآخر، ومع ذلك عندما لمس بسلكي الملف الأول قطبي البطارية، تذبذب الجلفانومتر المتصل بالملف الثاني قبل أن يستقر عائداً إلى وضعه الأصلي، وعندما فصل البطارية، تحرك المؤشر من جديد. تخيل فاراداي- وباله ربما كان متجهاً إلى التموّجات التي رآها في تجاربه الصوتية- إنتاجَ «موجة كهرباء» في الملف الأول وانتقالها خلال الحلقة وتوليدها بطريقة ما تياراً في الملف الثاني؛ لقد اكتشف فاراداي الحث الكهرمغناطيسي وفتح نافذة على عالم

كان تحريك قضيب مغناطيسي إلى الأمام وإلى الخلف داخل ملف أجوف يولد أيضاً تياراً في السلك، فقد حول أورستد

الكهرباء إلى مغناطيسية، وها هو فاراداي يحول المغناطيسية إلى كهرباء؛ لينتج بذلك أول دينامو كهربائي بدائي، وهو المعكوس الميكانيكي للموتور الذي اخترعه قبل ذلك بعشر سنوات. فمن الممكن استخدام الكهرباء لإنتاج الحركة واستخدام الحركة لإنتاج الكهرباء. لقد كان هناك شيء مختفٍ بعمق تحت سطح الواقع (كما سيقول أينشتين لاحقاً)، وكانت مهمة العالِم إخراج هذا الشيء بالملاطفة.

كلما أمعن فاراداي النظر ازداد فهمه وإدراكه، حيث لاحظ بمرور الوقت أن الأقطاب النحاسية في خلاياه الفلطائية تلطخت تدريجيّاً بأكسيد الزنك، فيما اكتست الأقطاب الزنكية بالنحاس. ومن ثم فإن تدفق الكهرباء من قطبي البطارية يجب أن يكون مصحوباً بحركة داخلية للذرات. ولم تكن تلك الظاهرةُ هي الأساسَ الذي ستقوم عليه عملية صناعية واعدة (هي تكسية المعادن بالنحاس أو طلاؤها بالفضة) فحسب، بل أشارت إلى وجود صلة أخرى عميقة. البطارية بمثابة بوتقة لتحويل نوع من الطاقة، الطاقة الكيميائية، إلى نوع آخر، وهو الطاقة الكهربائية. كما كانت العملية تَصْلح بالعكس أيضاً، فعندما غمس سلكين مكهربين- أحدهما موجب والآخر سالب- في محلول ملحي خفيف الملوحة، تراكم الهيدروجين على أحدهما والأكسجين على الآخر. وكانت الكهرباء حينئذ تنتج تفاعلات كيميائية

والتفاعلات الكيميائية تنتج كهرباء.

كان العلماء في كل أنحاء أوروبا يواجهون هذه الألغاز: هل يتكون الماء من الهيدروجين والأكسجين؟ أو كما اقترح عالم ألماني، هل الماء عنصري، بمعنى أن الأكسجين يتكون من اتحاده مع كهرباء موجبة والهيدروجين يتكون من اتحاده مع كهرباء سالبة؟ بل إنه حاول إحياء نظرية اللاهوب. وكان فاراداي، على نحو أكثر ممن سواه، هو من خاض غمار هذا الالتباس، حيث أثبت في تجربة تلو أخرى طوال ثلاثينيات القرن التاسع عشر كيف أن الكهرباء والمغناطيسية والكيمياء كلها متصلة ببعضها بعضاً. وبعدئذٍ، وقبل أن تبدأ آدا لفليس ملاحقتها، دخل فاراداي في فترة من الركود.

ظل يشكو لفترة طويلة من متاعب في الذاكرة، وبعدها انكفأ في حالة من الكآبة المظلمة- غير قادر على التركيز- تنتابه نوبات دُوار. وربما كان الإرهاق الذهني هو السبب أو كان التسمم التراكمي الناجم عن كل المواد الكيميائية التي مست جلده. أخذ يرفض، بناء على أوامر الطبيب، ما يوجه إليه من دعوات للتحدّث وطلبات لإجراء أبحاث صناعية، مقتصراً في معظم الأحيان على الكتابة والتأمّل. وتفاقمت عزلته بسبب خلاف بينه وبين كنيسته جاء فيما يبدو على خلفية نوع ما من النزاع الفئويّ. ثم انهمر عليه وابل الإطراء من الليدي لفليس على نحو أغراه بشدة حتى شعر

بأن لا سبيل أمامه إلا أن يقطعه، فكتب يناشدها: «إنكِ تدفعينني إلى حد اليأس بإغراءاتك. لا أجرؤ على الإتيان، ويجب ألا آتي، لكن يكاد يستحيل عليّ أن أرفض».

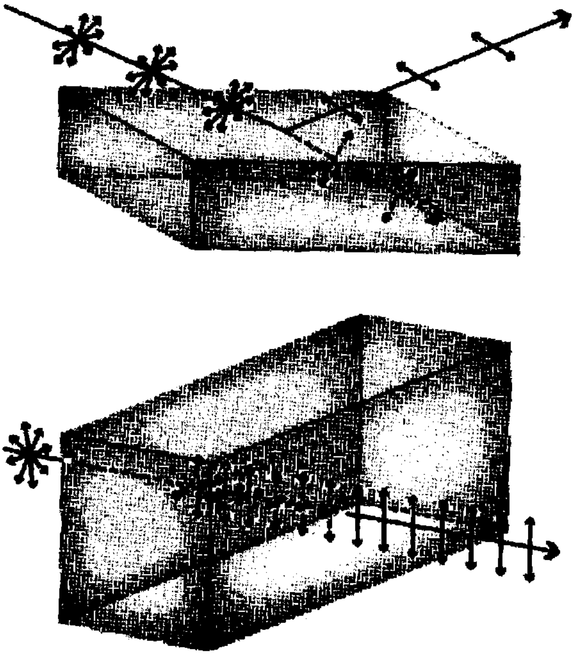
لعل من المستبعد أن نقول إن لقاءه العابر الحميم بعروس العلم كان نقطة تحوّل، لكن الغيوم أخذت تنقشع قرب ذلك الوقت، فعاد فاراداي منهكاً إلى معمله ليعكف على الإجابة عن سؤال ظل يقض مضجعه لسنوات. كان واضحاً آنذاك أن الكهرباء والمغناطيسية مرتبطتان ارتباطاً وثيقاً، لكن السؤال هنا: هل يمكن أن تكون هناك صلة بين الكهرباء والضوء أيضاً؟

كان فاراداي قد عمل على تحسين مصابيح أرجاند الزيتية القوية المستخدمة في المنارات على امتداد السواحل الإنجليزية والويلزية، بصفته مستشاراً علميّاً لمؤسسة ترينيتي هاوس Trinity House، التي أمر هنري الثامن Henry VIII بإنشائها سنة 1514 «لتنظيم إرشاد السفن في مجاري الملك المائية». وفي أواخر أغسطس 1845، أشعل واحداً من هذه المصابيح في معمله ومهّد الطريق لما سيكون فيما بعد أروع تجاربه.

يهتز الضوء أثناء انتقاله اهتزازاً عَرْضيّاً، أي في اتجاه عمودي على اتجاه الحركة. لكن هذا الضوء إذا ما عُكس على سطح منبسط أو مُرِّر خلال بلورات معينة كالتورمالين؛ يصبح مستقطَباً وتنحصر ذبذباته في مستوى واحد.

إذا نظرت إلى إحدى هذه الحزم الضوئية من خلال بلورة مستقطِبة ثانية مع إدارة هذه البلورة بزاوية 360 درجة، فستتغير الصورة من الساطع إلى القاتم ثم إلى الساطع من جديد مع توازي المرشِّحات مع اتجاه الحزمة أو تعامدها عليه.

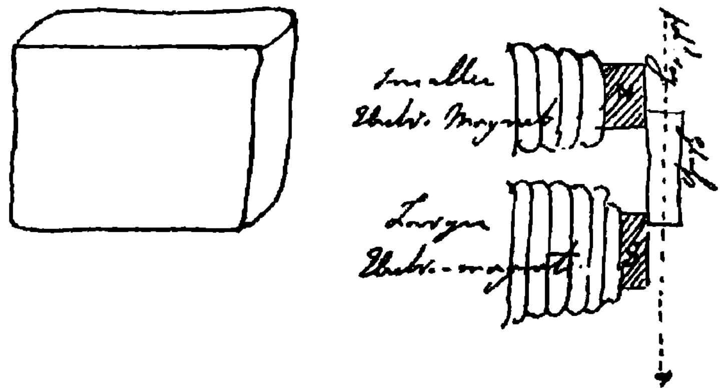
السؤال الذي طرحه فاراداي آنذاك: هل يستطيع تيار كهربائي أن يلوي حزمة ضوئية فيجعل مستوى ذبذبتها يدور. ملأ فاراداي حوضاً طويلاً بمحلول متوسط التوصيل للكهرباء ووضع قطبين من البلاتين على كلا طرفيه ووصلهما ببطارية خماسية الخلايا على نحو أشبه بما يُستخدم لتحليل الماء إلى مكوناته الغازية أو لطلاء ملعقة بالنحاس، ثم أوقد مصباح أرجاند وعكس ضوءه على لوح زجاجي فجعله مستقطَباً، ثم مرّر الشعاع خلال المحلول الذي كانت تسري فيه الكهرباء نفسه، وفحص الاستقطاب من جديد بجهاز يسمى منشور نيكول.



الاستقطاب بالانعكاس والاستقطاب من خلال بلورة مستقطِبة

لم يحدث شيء، فلم يتغير اتجاه الذبذبة. جرَّب فاراداي هذه التجربة باستخدام تيارات مستمرة وتيارات متقطعة وبتمرير التيارات خلال محاليل متنوعة، لكن دون أن يكون هناك أي أثر يمكن إدراكه. فجرّب تسليط الحزمة الضوئية بالتوازي مع تدفق الكهرباء بدلاً من تعامدها عليه، ومع ذلك لم يحدث تبدُّل في الاستقطاب. ظن فاراداي أن بطارياته ليست قوية بما يكفي،

فجرَّب مرة أخرى باستخدام مولد كهرباء ساكنة، فشحن شريحة زجاجية ووجه شعاع الضوء خلالها من كل اتجاه، ومع ذلك لم يحدث أي شيء.



تجربة الاستقطاب. مكعب زجاجي (يمين) موضوع مقابل القطبين المتضادين (الشمالي والجنوبي) لمغناطيس كهربائي.
حزمة ضوئية مستقطَبة مارة خلال الزجاج تدور بفعل المجال الكهرومغناطيسي. من دفتر يوميات فاراداي.

عندئذ قرر أن يجرب المغناطيسية، فأخرج من مخزونه قطعة ثقيلة من زجاج البصريات طولها نحو بوصتين وعرضها كذلك وسمكها نصف بوصة، وثبتها بجوار قطبي مغناطيس كهربائي قوي، ثم رتَّب المصباح والسطح المستقطِب، حيث مرت موجات الضوء الأفقية خلال طول القطعة الزجاجية، وأخذ يدير منشور نيكول وهو ينظر خلاله حتى خبت الحزمة، ثم مرَّر التيار، فظهرت فجأة

صورة لهب المصباح مرة أخرى. أطفأ المغناطيس فاختفى اللهب مجدداً، لقد تبين له أن المجال المغناطيسي يمكن الحزمة الضوئية من الدوران.

كانت كل تجاربه السابقة على المغناطيسية والكهرباء توشك أن تبلغ ذروتها. وبالنشوة النابعة من الاستغراق التام، أقبل على أبحاثه بكل شغف. كتب لأحد زملائه: «لا أكاد أمتلك في الوقت الحالي لحظة فراغ واحدة لأي شيء غير العمل. لقد حدث أن اكتشفت علاقة مباشرة بين المغناطيسية والضوء وبين الكهرباء والضوء أيضاً، والمجال الذي يفتحه هذا الاكتشاف واسع جدّاً، والثراء يداعب خيالي على نحو يجعلني من الطبيعي أن أتمنى أن أراه أولا.... في الحقيقة لا وقت لدي لأخبرك بكُنه هذا الشيء؛ لأنني لا أرى الآن أحداً ولا أفعل شيئاً إلا العمل فحسب».

علم فاراداي أن محاذاة المجال المغناطيسي بالغة الأهمية. لم يحدث أي شيء عندما كان يضع قطباً مغناطيسياً شماليّاً على أحد جانبي قطعة الزجاج وقطباً جنوبيّاً على الجانب الآخر. كما لم يكن يحدث هناك أي أثر عندما يعرّض كلا جانبي الزجاجة إلى قطبين متشابهين أو عندما يَصُفُّ القطبين المتشابهين على الجانب نفسه. كتب فاراداي في دفتر يومياته: «لكن [وضَع فاراداي خطّاً تحت هذه الكلمة ثلاث مرات مثل آدا لفليس في غمرة حماسها] عندما وضعت قطبين مغناطيسيين مختلفين على الجانب نفسه، كان هناك

أثر ظاهر على الشعاع المستقطَب، ما أثبت أن هناك علاقة بربط بين القوة المغناطيسية والضوء».

أكّد فاراداي أن المغانط الدائمة القوية تدير الشعاع أيضاً، وأنه يمكن استخدام مواد أخرى شفافة بدلاً من الزجاج. كان بعض المواد يعمل بشكل أفضل من بعضها، لكن درجة الدوران في كل حالة كانت تعتمد على قوة المجال المغناطيسي، فإذا عُكست قطبية المجال، دارت حزمة الضوء في الاتجاه الآخر. لقد توصل فاراداي إلى الجزء الأخير من الأحجية، فالكهرباء مرتبطة بالمغناطيسية والمغناطيسية مرتبطة بالضوء.

تُرك الأمر لجيمس كليرك ماكسويل (James Clerk Maxwell) ليثبت بمعادلاته الشهيرة بعد ذلك بعقدين من الزمن أن الضوء ما هو إلا كهرمغناطيسية. حاول فاراداي، بلا توقف تقريباً، أن يدفع بهذا الاتحاد إلى أبعد من ذلك، وسعى للربط بين الجاذبية والمغناطيسية، وهو المطلب الذي راوغه هو وأينشتين وكل عالِم جاء منذ ذلك الحين. كتب فاراداي يقول في دفتر يومياته: «كل هذا حلم، لا شيء مستبعداً ما دام متسقاً مع قوانين الطبيعة، والتجربة- في مثل هذه الأمور- خير مقياس لهذا الاتساق».

طوال هذا كله، كانت آدا لا تزال تداعب مخيلته، فقد كتب إليها في سنة 1851، أي بعد ست سنوات من يوم أن رجاها أن تبتعد عنه، يقول: «ترين ما تفعلين وكأنك كنت دائماً معي. تقولين اكتب،

فأكتب، وأتمنى لو كنت أمتلك القدرة وما يكفي من الفراغ لأفعل ما هو أكثر بكثير». وفي السنة التالية، ماتت آدا بسرطان عنق الرحم ولها من العمر آنذاك ست وثلاثون سنة، وعاش بعدها فاراداي خمس عشرة سنة.

الفصل السابع

جيمس جول

كيف يعمل العالَم



جيمس برسكوت جول

لذا ستندهش إذا ما عرفت أن الرأي الغالب كان حتى وقت قريب جدّاً يقول بقدرة الشخص على إفناء تلك القوة الحرة بشكل تام ومُبرم كما يشاء. وهكذا فعندما يسقط ثقل على الأرض، فمن المفترض عموماً أن قوته الحية تفنى تماماً، وأن الشغل الذي يُحتمل أنه بُذل في رفعه إلى المستوى الذي سقط منه قد تبدّد بأكمله دون إنتاج أي أثر دائم أيّاً كان.

– جيمس جول، محاضرة في مانشستر (1847)

إننا لا ندري ما كان يدور بخَلَد وليم طومسون (William Thomson) في ذلك اليوم الملبّد بالغيوم من أيام شهر أغسطس سنة 1847 عندما انطلق من شاموني صوب سان جيرفيه سيراً على الأقدام، لكنه ربما كان شيئاً ذا علاقة بالفيزياء. كان طفلاً معجزة، حيث نُشر أول بحث علمي له وهو في السادسة عشرة من عمره. وفور تخرجه في كامبريدج وهو في الثانية والعشرين من عمره، عُيّن أستاذاً لكرسي الفلسفة الطبيعية بجامعة جلاسجو، وها هو الآن، بعد مرور عام، يتسلق جبال الألب الفرنسية قاصداً مون بلان. كان طومسون قد بدأ يعتقد أن قوى الطبيعة كلها لا بد أن تكون مترابطة (كان قد «أُشرب حماسة فاراداي»)، وربما كان يقلّب ذلك الخاطر في رأسه وهو يقترب من الطريق الجانبية المؤدية إلى الممر المرتفع المشرف على شِعب كول دو بونوم ليصادف وجهاً مألوفاً لرجل آخر يهوى السير على الأقدام وهو جيمس برسكوت جول (James Prescott Joule).

كان جول في شهر عسله (تتبعه زوجته داخل عربة)، ويحمل ترمومتراً طويلاً لقياس درجة حرارة الشلالات، أو هكذا سيقول طومسون مسترجعاً ذلك الموقف فيما بعد. إذا كان جول مصيباً في رأيه، فإن الماء الموجود في قعر الشلال يجب أن يكون أدفأ قليلاً من الماء الموجود أعلاه، ما يعني خطأ النظرية السائدة عن الحرارة، القوة التي وجدها طومسون محيرة أكثر مما سواها من قوى الطبيعة.

وافق طومسون على الالتقاء بجول بعد بضعة أيام عند «كاسكاد دي سالانش»، ولعله شلال أربيناز الذي يبلغ ارتفاعه 1199 قدماً وينبغي وفق حسابات جول أن يظهر اختلافاً في درجة الحرارة يبلغ نحو درجة ونصف الدرجة فهرنهايت. أفاد طومسون بأن الرذاذ كان كثيراً وحال دون أخذ قراءة دقيقة. ولمّا لم يتسن الحصول على أي بيانات، ذهب الرجلان كلٌّ في طريقه.

لعل القصة تبدو منمقة أكثر مما ينبغي. فعلى الرغم من أن طومسون (الذي سيعرف فيما بعد باللورد كلفن Lord Kelvin) قابل جول على الممر، فإنه لم يذكر الترمومتر عندما كتب إلى أبيه بعدئذ ببضعة أيام من تكيّة جران سان برنار. فالذكريات تختلط ببعضها بعضاً، ويبدو على الأرجح أن كلفن، وهو آنذاك واحد من أجلّ علماء أوروبا، قد خلط بين تلك المقابلة، عندما وصفها بعد ذلك بسنوات، وبين حدث سابق.

كانا قد التقيا لأول مرة قبل ذلك بشهرين في اجتماع علمي في أكسفورد. فقد اعتاد جول، وهو هاوٍ علّم نفسه بنفسه من مدينة مانشستر الصناعية، أن يتجاهل الآخرون أفكاره؛ لذا سرَّ عندما وقف هذا الشاب المسمّى طومسون في نهاية كلامه وأبدى بعض الملاحظات الثاقبة. كان افتقار جول إلى اللباقة وتحفّظه يحولان دون أن يكون محاضراً جيداً، لكنّ شخصاً واحداً على الأقل كان يستمع إليه. أصرّ طومسون لاحقاً على أنه ظل في

مقعده ولم يطرح أسئلته إلا بعد ذلك. ولعل ذاكرة جول خدعته هذه المرة، لكن من الواضح أن التجربة التي وصفها تركت انطباعاً جيداً.

كان لافوازييه قد أضعف هيمنة اللاهوب الخيالي، لكنه أتى قبل موته باختراع آخر، السيَّال الحراري (caloric)، ووهو الاسم الذي أطلقه على مادة غير منظورة- أو «مائع لطيف»- يقال إنها ناقلة الحرارة. بدت الفكرة معقولة بدرجة كافية، فكل ما هو ساخن يكون كثيفاً بالسيال الحراري، ولأن السيال الحراري يميل إلى التمدّد، فإنه ينتقل بشكل طبيعي إلى مكان عدم وجوده. ضع مِحْراك جمر معدنيّاً في النار وسوف يرتفع السيال الحراري في القضيب حتى تشعر بالحرارة في المقبض. أما الأشياء فتتمدد عند تسخينها لأنها تستقبل السيال الحراري. والغازات تسخن عند ضغطها لأن السيال الحراري الموجود به
عندما يقل انضغاطها؛ لأن السيال الحراري يتبعثر.

بل يمكن تسخير السيال الحراري في المحرك البخاري، كالماء في الطاحونة، لبذل شغل كذلك. ويتدفق السيال الحراري المتركز في كتل الفحم المشتعل إلى المرجل فيسخِّن الماء وينتقل مع البخار الذي يدفع المكبس. وعندما تنتهي الدورة، تُطرد الكمية ذاتها في الهواء كعادم. والسيال الحراري مثله مثل المادة لا يفنى ولا يستحدث من عدم، وقد حُبي الكون بمقدار ثابت منه يتنقَّل دائماً

من مكان إلى آخر.

لهذا وجد طومسون محاضرة جول مربكة للغاية. فقد زعم جول أنه بصدد إثبات إمكانية استحداث الحرارة ساعة يشاء المرء. وقد ناقش الرجلان مقتضيات ذلك في حفل استقبال أقيم لاحقاً في ذلك اليوم في مبنى رادكليف كاميرا الأسطواني ذي القبة الأنيقة الملحق بمكتبة بودليان. وبعد بضعة أيام، كتب طومسون إلى أبيه: «أنا على يقين من أن جول مخطئ في كثير من أفكاره، لكنه اكتشف فيما يبدو بعض الحقائق بالغة الأهمية». ولم يمض وقت طويل حتى أتبع جول الحديث بخطاب إلى صديقه الجديد مقترحاً إمكانية استخدام حبل ودلو وترمومتر جيد لإثبات تَولُّد الحرارة حتى بفعل الماء الساقط.

لم يكن جول أول عالم يرتاب في الفكرة القائلة إن الحرارة مائع غير منظور، وهنا يدخل لافوازييه، أو بالأحرى أرملته ماري آن، قصتنا للمرة الأخيرة. وكانت أيضاً قد سُجنت بعض الوقت، لكنها استعادت بعد سقوط روبسبيير (Robespierre) أملاك لافوازييه وكانت تترأس صالوناً يتسم بالبذخ ويتردد عليه بعض كبار المفكرين في أوروبا. وكان بنجامين طومسون (Benjamin Thompson) أحد ضيوفها، وهو منفي أمريكي فرّ إلى لندن متخلياً عن زوجته وابنته بعد أن وجد نفسه على الجانب الخاسر من الثورة، ثم انتقل إلى بافاريا، حيث حصل هناك على لقب كونت رَمْفورد

(Count Rumford) وبعد أن التقى ماري آن في سنة 1801، عقد العزم على الحصول عليها هي أيضاً. فهي، كما كتب، تنبض بالحياة وحنون وذكية، ومع أنها «ممتلئة الجسم على نحو جميل»، كما وصفها بكياسة، فإن «ثروتها الشخصية كبيرة».

لم يكن الكونت، بعجرفته ومزاجه المتقلّب، غنيمة كزوج (كانت عروسه السابقة أرملة غنية أيضاً)، ولا بد أنه أدرك أنَّ الطريق إلى قلب ماري آن يمر عبر مخِّها، فتودد إليها بحكايات عن مآثره العلمية التي كان لكثير منها علاقة بالحرارة، كاختراع موقد رمفورد، والملابس الداخلية الحرارية، وإبريق استقطار القهوة، والأهم من ذلك كله كان أول تجربة مشهورة تثير الشك في نظرية السيال الحراري.

في أثناء عمل رمفورد مع الجيش البافاري، أثار إعجابه كمّ الحرارة الناتجة عند ثقب المدافع المصنوعة من النحاس الأصفر. وكان الاعتقاد السائد آنذاك أن عملية الثقب تطلق السيال الحراري المحتبس في المعدن، لكن رمفورد كان يشك في ذلك، فغمس مدفعاً في الماء واستخدم حصانين لإدارة لقمة المثقاب، فارتفعت حرارة الماء شيئاً فشيئاً، وبعد ساعتين ونصف الساعة أخذ الماء يغلي «بفعل قوة حصان لا غير، ودون نار أو ضوء أو احتراق أو تحلّل كيميائي».

أخبر رمفورد الجمعية الملكية بقوله: «يصعب وصف الشعور

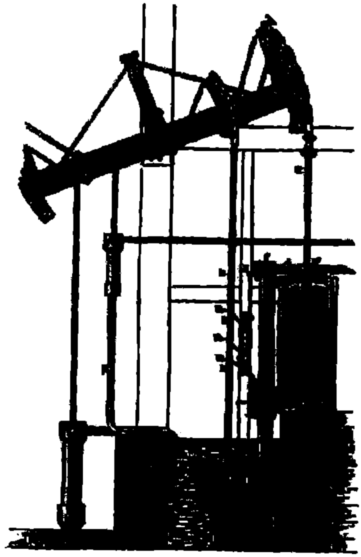
بالمفاجأة والدهشة الذي عبرت عنه سيما المتفرجين عندما رأوا كمية من الماء البارد تُسخَّن، بل وتُغلى فعلاً، دون أي نار». لم يجد داعياً للشك في إمكانية توليد المزيد من الحرارة ما دام الحصانان مستمرين في عملهما. وهكذا، إذا كان هناك ما يُسمى بالسيال الحراري، فيبدو أن المدفع يحتفظ بمعين لا ينضب منه.

كان هناك آخرون قد انتهوا إلى استنتاج مماثل مفاده أن الحرارة ليست شيئاً ماديّاً بل هي «قوة حرة» أو حركة، أو «اهتياج بالغ الشدة والحدَّة في أجزاء جسم معين» كما كتب روبرت هوك (Robert Hooke). وكان الرياضي السويسري دانييل برنولي (Daniel Bernoulli) قد افترض أن الحرارة مجرد اهتزاز جسيمات دقيقة غير منظورة في المادة. لكن تلك النظرية كانت توشك على الزوال، ولم تكن تجربة رمفورد قد أجريت بدقة كافية لتغيير الكثير من وجهات النظر.

بعد أربع سنوات من التودّد، أقنع رمفورد ماري آن بالزواج منه وانتقل للعيش في قصرها، لكن الزواج لم يدم. فذات يوم من الأيام منع ضيوفها من دخول البيت اعتراضاً منه على عزلته، فانتقمت منه بأن صبّت على وروده ماءً يغلي (غنيّاً بالسيال الحراري)، ثم دفعت له ما بين 300 ألف و400 ألف فرانك ليرحل عنها.

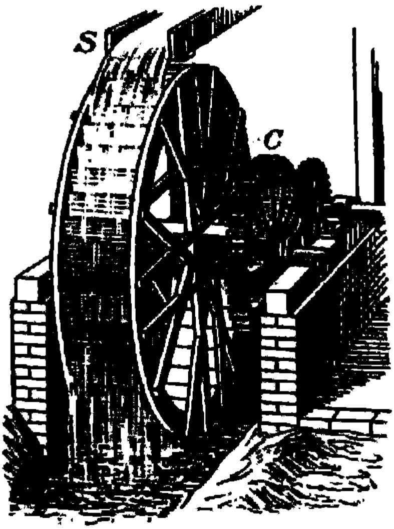
خلال العقود الأولى من القرن التاسع عشر، ومع توصل

مجرِّبين مثل فاراداي إلى الصلات الكهرمغناطيسية الخفية، ظلت طبيعة الحرارة (وهي شيء مألوف وعادي وقوي للغاية في الوقت نفسه) غامضة وعصيّة على الفهم. هذا اللاشيء الغامض يستطيع على نحو ما، بمروره خلال محرك بخاري، أن يزحزح الأرض بالمعنى الحرفي للكلمة، فالمضخات المدارة بالبخار تمتص أطناناً من المياه من أنفاق المناجم، فتكشف عروق الفحم العميقة التي تشغِّل القاطرات والمصانع والطواحين. والمجرفات البخارية تستخرج عروق ركاز الحديد الذي يُشكَّل منه المزيد من الأدوات والآلات. ومع وجود مصدر وافر وسهل الحمل للحصول على الطاقة، نشأ هناك اقتصاد صناعي صغير مدفوع بالماء ونما على امتداد جداول طواحين شمال إنجلترا وبدأ ينتشر جنوباً حتى وصل إلى الأراضي المنبسطة. أما في مانشستر، حيث ولد جول في سنة 1818، فسرعان ما انتشرت المحركات البخارية في كل مكان لتنفث الدخان وتدير العجلات. كان المبدأ الأساسي لهذه الآلات مفهوماً جيداً (حيث يقوم البخار عالي الضغط بدفع مكبس مجهز لإدارة عجلة)، لكن أحداً لم يكن يعرف قوانين الطبيعة التي يسَّرت ذلك. كان الأمر أشبه- فيما بعد- بتطوير المفاعل النووي، فيما بعد، بالتجربة والخطأ دون فهم القوانين الفيزيائية.



محرك بخاري يعود إلى أواخر القرن الثامن عشر
من صنع جيمس واط (James Watt)

إن ما كان يحدث في الطواحين القديمة القائمة على ضفة النهر بدا واضحاً بما يكفي، حيث كان الماء يتدفق بسرعة على قمة عجلة تجديف ويسقط إلى أسفل ثم يخرج عند القاعدة بوتيرة أبطأ. كان بعض «مجهوده» أو قوته الحرة يُبذل في إدارة العجلة، وكلما كان الفارق أكبر بين السرعتين الداخلة والخارجة، كانت القوة المستخلصة من مسقط الماء أكبر.



عجلة تجذيف

درس المهندسون، كالفرنسي لازار كارنو (Lazare Carnot)، كيفية تشغيل طواحين المياه بأكفأ ما يمكن. وسنة 1824، اقترح ابنه سادي كارنو Sadi Carnot (سُمّي تيمناً بشاعر فارسي)[1] أن المحرك البخاري أشبه بعجلة تجذيف حل فيها السيالُ الحراري «الهابط» على منحدر متدرج من السخونة إلى البرودة محلَ الماء، ووصف نظريته في بحث لم يحظ بشهرة كبيرة في زمنه بعنوان «تأملات في القدرة المحركة للنار» (*Reflections on the Motive Power of Fire*). يدخل البخار المحرك عند درجة حرارة مرتفعة جدّاً ويخرج

(1) الشاعر سعدي الشيرازي، وهو من أعظم الشعراء الفارسيين– المترجم

عند درجة حرارة أقل كثيراً، وبتعظيم الفارق بينهما يمكن للمرء أن ينتزع من الوقود أكبر مقدار شغل تسمح به الفيزياء. كما يمكن للمرء تشغيل هذه الدورة باتجاه عكسي، فيبذل شغلاً لضخ الحرارة لأعلى (وهو ما تفعله الثلاجة الحديثة باستخدام القدرة التي تستمدّها من مأخذ التيار).

آذن تحليل كارنو ببداية ما سيسمّيه كلفن الديناميكا الحرارية، لكنه لم يتطرق إلى فكرة أن الحرارة مادة (أعني السيَّال الحراري) لا تفنى ولا تستحدث من عدم، مثلها في ذلك مثل الماء المارّ خلال عجلة التجذيف. والأرجح أن جول تعلم كل ذلك وهو صبي من معلمه الخصوصي جون دالتون (John Dalton)، أحد سكان مانشستر أيضاً، الذي وضعت تجاربه في الكيمياء الأساس للنظرية الذرية الحديثة. كان والد جول، وهو صانع بيرة ثري، قد رتَّب لتلقي جيمس وأخيه تعليماً خاصّاً على يد هذا الكيميائي. وسرعان ما تحول جيمس إلى العالِم الصبي التوّاق، فكان يصعق رفاقه في اللعب بقوارير لَيْدِن، وأجرى تجارب بالكهرباء على حصان أعرج وخادمة صبية، فتلقت الفتاة صدمة فقدت وعيها من شدتها. وعندما بلغ التاسعة عشرة من عمره، كان يشغل نفسه أثناء عمله في مصنع البيرة بالملفات والمغانط على أمل أن يخترع محركاً كهربائيّاً أقوى من المحرك البخاري وأرخص تشغيلاً منه.

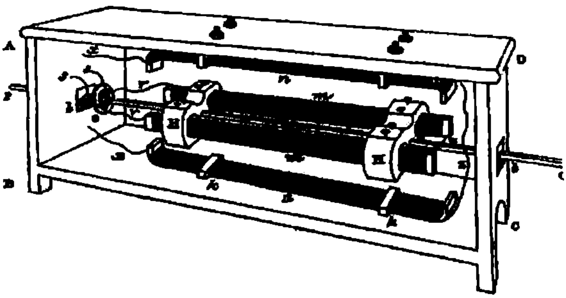
لإمداد الجهاز بالطاقة، استخدم جول خلايا فلطائية تتكون

من قطبين أحدهما من الزنك والآخر من النحاس، مغموسين في حمض كبريتيك مخفف. وفي مثل هذه البطاريات، يأكل الحمضُ الزنكَ فيطلق فائضاً من الإلكترونات. وإذا وصَّلت محركاً كهربائيّاً بالقطبين يسري فيه تيار يمغنط الملفات فتجعل العضو الدوّار يدور.

لاحظ جول في مرحلة مبكرة أن قوة المغناطيس الكهربائي تزداد بمقدار تربيع التيار. عند مضاعفة عدد البطاريات مرتين، تتضاعف القوة أربع مرات. ولا بد أن إمكانية انطباق الشيء نفسه على المحرّك الكهربائي بدت مذهلة مثلما بدا الاندماج البارد مذهلاً في ثمانينيات القرن العشرين. أعلن جول بحماسة شاب في العشرين من عمره غير معتاد على متاعب العالَم المادي فقال: «لا أكاد أشك في أن الكهرمغناطيسية ستحل في النهاية محل البخار في دفع الآلات، حيث يمكن تخفيض تكلفة تشغيل المحرك إلى ما لا نهاية». وكان يعتقد أنه باستثناء بعض العوائق الطفيفة كمقاومة الهواء والاحتكاك، «لا يوجد فيما يبدو ما يحول دون الوصول إلى سرعة دوران هائلة ومن ثم قدرة هائلة».

لم يكن الواقع مطاوعاً لجول على ذلك النحو، فمحركه الكهربائي الأول كان يدير نفسه بالكاد. جرَّب ترتيبات مختلفة للملفات والبطاريات، ولفّ أنواعاً مختلفة من الأسلاك حول أنواع مختلفة من القلوب، لكنه ظل يصطدم بإرادة الطبيعة. كلما

ازداد التيار الذي يغذي المحرك، ارتفعت درجة حرارة ملفاته. والواقع أن جول اكتشف أن الحرارة تزداد هي الأخرى وفقاً لقاعدة المربعات. فإذا ضاعفت عدد البطاريات مرتين، تضاعفت الحرارة أربع مرات. إنه افتراض خاسر، فالحقيقة المُرة أنك لا تستطيع أن تحصل من نظام على طاقة أكثر مما تعطيه. ومن ثم لا يمكنك إلا تحويل الطاقة إلى صورة مختلفة.



محرك جول الكهربائي، رسم من بحثه «أوراق علمية»

بحلول عام 1841، كان جول قد استوعب الدرس تماماً. وكانت أفضل المحركات البخارية في العالم آنذاك تستمد من رطل من الفحم قوةً حرةً تكفي لرفع 1,5 مليون رطل مسافة قدم واحدة عن الأرض، أو رفع رطل واحد مسافة 1,5 مليون قدم عن الأرض. بعبارة أخرى، كان رطل الفحم يبذل 1,5 مليون قدم رطل من الشغل. أما أفضل محرك يُدار بالبطارية من محركات جول

فلم يكن يستمد إلا خمس هذه القوة الحرة من رطل من الزنك، وكانت تكلفة الزنك تزيد على تكلفة الفحم ما بين ستين إلى سبعين مرة. وفي هذا كتب يقول في أسًى: «المقارنة ليست في صالحي بالمرَّة وأعترف بأنني أكاد أيأس من نجاح التجاذبات الكهرمغناطيسية كمصدر اقتصادي للقدرة».

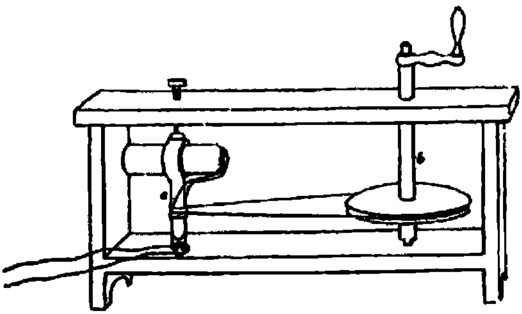
اليوم، حلت بالطبع المحركات المُدارة بكهرباء الشبكة محل المحركات البخارية في المصانع حول العالم، لكن طاقتها في النهاية تأتي من البخار، حيث يُحرق الفحم أو الغاز أو ينشطر اليورانيوم في محطات توليد الكهرباء لغلي الماء الذي يحرك توربينات تدفع مولدات تنتج الكهرباء.

كانت الحرارة مثار إزعاج بالنسبة لشخص منخرط في الممارسة العملية لصنع المحركات، لكن جول بدأ يدرك حقيقة أعمق، وهي وجود صلة أساسية بين الحرارة والشغل. فعند إحداث دائرة قصر بتوصيل سلك بين قطبي بطارية، سرعان ما تشتد سخونة السلك حتى ينبعث دخان من عازله. لكننا إذا أضفنا محركاً إلى الدائرة، فإن السلك يظل بارداً، أي أن الشغل يبذل على حساب الحرارة. وكان الشيء نفسه ينطبق على استخدام بطارية لتحليل الماء بالكهرباء وفصله إلى هيدروجين وأكسجين، أو لطلاء ملعقة بالكهرباء.

ربما كان السيال الحراري يتدفق من البطارية مع الكهرباء، لكنه

لم يبدُ له أن البطارية تبرُد، وفي هذا دليل آخر على أن الحرارة لم تكن موجودة من قبل، بل تولدت في أثناء التشغيل. وفي 1843 بدأ جول اختبار هذه الفرضية.

كانت الفكرة تتمثل في وضع ملف داخل أنبوب زجاجي معزول مملوء بالماء وتدويره بذراع تدوير يدوية، مع وضع مغناطيسين كهربائيين قويين أخذهما جول من محركاته على الجانبين، فكانت النتيجة مولداً. وصَّل سلكي الملف بجلفانومتر لقياس كمية التيار المنتَج. (لمنع السلكين من الدوران ابتكر قابضاً مصنوعاً من الزئبق المستقر في تجويفين شبه دائريين) سيقيس جول درجة حرارة الماء ثم يدير عمود الإدارة بثبات لمدة خمس عشرة دقيقة، ثم يقيس درجة الحرارة من جديد.



مولّد جول، لا يظهر في الرسم المغناطيسان الكهربائيان

كانت عملية دقيقة وحساسة جدّاً، وكان عليه أن يأخذ في الاعتبار أشياء مثل الأثر التبريدي للهواء والتغيرات في درجة حرارة الغرفة، وأن يراعي أن التيار المستحَث في الملف الدوّار ليس ثابتاً بل متذبذباً. فجرَّب مستويات مختلفة من شدة المغناطيسين، وأعداداً مختلفة من البطاريات، وعندما فرغ كان قد أقنع نفسه بأن التدوير جعل الماء أدفأ قليلاً. وبمقارنة القراءات المأخوذة من الجلفانومتر بالقراءات المأخوذة من الترمومتر، رأى جول علاقة مألوفة، وهي أن مضاعفة التيار مرتين تضاعف الحرارة أربع مرات.

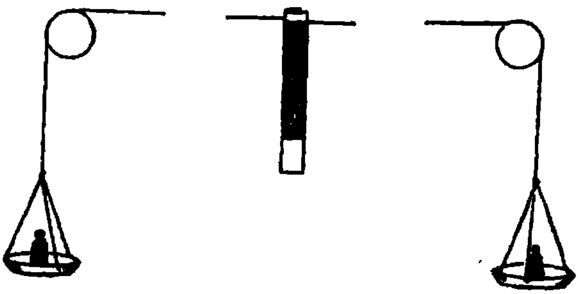
لم يكن الملف متصلاً ببطارية، فمن أين كان يأتي السيال الحراري إذن؟ المصدر الوحيد المحتمل للحرارة هو الشغل الذي كان يبذله جول بتدوير العمود. فكما في تجربة المدفع التي أجراها رمفورد، كان يجري تحويل الحركة الدائرية إلى نوع آخر من الحركة، وهي ذبذبات مادية دقيقة تحسها أصابعنا بمثابة حرارة.

أدرك جول أن عليه أن يمضي أبعد من ذلك خطوة كي يقنع المتشككين. فكم قدم رطل من الشغل على وجه الضبط يتطلبه إنتاج كمية معينة من الحرارة؟ أعاد جول تصميم جهازه الأصلي، فلفَّ محور عمود التدوير اليدوي بقطعتين طويلتين من الخيط المجدول، وجعل اللف في اتجاهين متعاكسين، وأدلى كل واحد منهما على بكرة وربطه بكِفَّة تحمل ثقلاً. ومع هبوط الثقلين، سيدور الملف ويولد

كهرباء وحرارة.

بعد تجربة أثقال مختلفة تسقط من ارتفاعات مختلفة (حفر حفرتين في حديقته ليعطيهما مجالاً كافياً)، قدَّر جول أن الجهد الميكانيكي المختزن في كتلة قدرها 838 رطلاً معلقة بارتفاع قدم واحدة عن الأرض تنتج حرارة كافية لرفع درجة حرارة رطل من الماء بمقدار درجة واحدة فهرنهايت. وبأخذ الوزن في الاعتبار، فإن درجة حرارة قاع مسقط مائي بارتفاع 838 قدماً (شلالات الملك إدوارد الثامن في غيانا تقترب من هذا الارتفاع) ينبغي أن تكون أدفأ بدرجة واحدة تقريباً من قمَّته.

في أغسطس 1843، وصف جول نتائجه في مؤتمر علمي في مدينة كورك الأيرلندية، لكن «الموضوع لم يلق اهتماماً عاماً كبيراً» كما قال لاحقاً. ولعل اختلاط الظواهر المختلفة (الكهرباء، المغناطيسية، الحرارة، الحركة) أبهم الغاية من محاضرته، وربما كان هو نفسه



ثقلان وبكرتان لتدوير ذراع المولد

من لم يساعد الحضور في هذا الشأن. كان لا يزال بحاجة إلى تجربة حاسمة تتحدث عن نفسها، تجربة أبسط وأدق وأوضح.

بحلول اجتماع أكسفورد في سنة 1874، الذي التقى فيه بوليم طومسون، كان جول يحمل دليله في يده، ولما كان الوقت متأخراً من بعد ظهر ذلك اليوم، طُلب منه الإيجاز في محاضرته. وكان قد حمل معه من مانشستر جهازه الجديد المكوّن من وعاء مصنوع من النحاس المكسو بالقصدير، وجهّزه على طاولة في قاعة المحاضرات. كان الغطاء، وهو من القصدير أيضاً، يحوي ثقباً في مركزه تماماً لاستيعاب ذراع تدوير عجلة دوارة من النحاس الأصفر، وثقباً آخر يوضع فيه ترمومتر.

شرح جول كيف ملأ الوعاء بالماء وجهَّز الثقلين والخيطين والبكرتين لجعل عجلة التجديف تدور. وكانت حول الجدار الداخلي للحاوية عوارض من النحاس الأصفر لمقاومة الحركة الدائرية للماء على نحو يزيد الاحتكاك. وبعد أن وضع ثقلاً زنته 29 رطلاً في كلتا الكِفَّتين، رفعهما 5,25 قدم عن الأرض وتركهما تسقطان. ثم أعاد لف عمود الدوران وترك الثقلين يسقطان من جديد، مكرراً هذا الإجراء عشرين مرة. بلغ الشغل المستخدم لرج الماء إجمالاً نحو 6090 قدم رطل، حيث رفع ثقلين وزنهما 58 رطلاً حتى ارتفاع 105 (20 × 5,25) قدم. أجرى جول التجربة بإجمالي

تسع مرات، ليجد في النهاية أن حرارة الماء قد ارتفعت بمقدار 0,668 درجة في المتوسط.

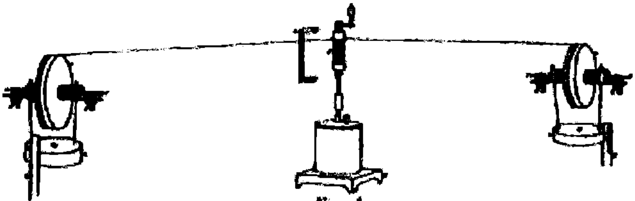


Fig. 4

النسخة المنقحة من تجربة جول

رأى جول أن بعض القوة الناتجة عن الثقلين الساقطين ضاعت في التغلب على احتكاك البكرتين والخيط. ولتقدير مقدار هذه القوة، أخذ أسطوانة قطرها يساوي قطر عمود الدوران ولفّ حولها قطعة من الخيط المجدول مرة واحدة، مُدلياً ثقليه من كلا الطرفين، ثم أخذ يضيف أثقالاً أصغر إلى أحد الجانبين بالتدريج، فوجد أن قلب التوازن لجعل العجلة تتزحزح يتطلب نحو 7,2 أونصة (3150 قمحة).

وبأخذ ذلك بالإضافة إلى العوامل الأخرى في الحسبان، حسَّن جول حسابه السابق. فتسخين رطل من الماء بمقدار درجة واحدة يتطلب مجهوداً مقداره 781,5 قدم رطل، وسينقّح هذا الرقم فيما بعد ليكون 772 قدم رطل. والعكس بالعكس، ففارق بمقدار درجة واحدة في درجة الحرارة لديه الطاقة الكامنة لرفع ثقل زنته

رطل واحد مسافة 772 قدماً في الهواء (إذا استطعت تسخير هذه الطاقة فحسب).

لم تكن هناك هذه المرة ملفات وبطاريات لتشويش الرسالة. لقد تبين أن الحرارة والشغل ليسا مرتبطين فحسب، بل هما شيء واحد، أي طريقتان مختلفتان يتحوّل بهما «المجهود» أو القوة الحرة (الطاقة كما نقول الآن) إلى حركة. فالشغل هو ما ينتج عندما تستخدم قوة لتحريك شيء ما مسافة معيّنة، كما في حالة الحصان الذي يجر عربة، وهذه طاقة منظَّمة مستخدَمة استخداماً منتجاً. أما الحرارة فهي شغل غير منتِج، وطاقة غير منظَّمة وتتشتت بلا هدف على هيئة اهتزازات مجهرية عشوائية. ومع استمرار تطوّر النظرية الذرية، ستصبح الصورة أوضح، فما الحرارة إلا اهتزاز الذرات.

إنها فكرة غير عادية، لا تكاد تكون مفهومة. فقد كان جول يبذل ما يسمى طاقة عند رفعه ثقلاً عن الأرض، وعندما يسقط هذ الثقل يعيد هذه الطاقة. وإذا سُخِّر هذا الشغل في مولد، فيمكن تحويله إلى قدرة كهربائية، ويمكن استخدام هذه القدرة في إدارة محرك كهربائي وضخّ المياه عالياً إلى خزان يمكنه التدفق منه نزولاً وإدارة عجلة ماء يمكن استخدامها في لفِّ زنبرك ساعة عملاق. لكن من الواضح أنه عند كل خطوة من هذا الطريق سيضيع جزء من الطاقة في صورة حرارة. وإذا سمح للثقل بمجرد السقوط دون بذل شغل، فكل ما ستحصل عليه هو الحرارة الناشئة عن

الاصطدام بالأرض ومقاومة الهواء. ومن ثم فإن السيال الحراري لم يكن هو ما يجب صونه دائماً، بل الطاقة.

بمجرد أن قبل طومسون اكتشاف جول، راح يتقصّى تبعاته. فعلى الرغم من أن الحرارة لا تختفي من الكون، فهي تنخفض تدريجيّاً، حيث تتحول من السخونة إلى البرودة ولا تعود كما كانت أبداً، أي أنها «تضيع بلا رجعة».

أدرك طومسون أن ما يترتّب على ذلك أن العالم كان ذات يوم بالغ السخونة فبرد وسيزداد برودة حتماً، وأن «الأرض لا بد أنها كانت غير صالحة لسكنى الجنس البشري خلال فترة زمنية محدودة فيما مضى، ولا بد أن تكون من جديد غير صالحة لسكنى الجنس البشري خلال فترة زمنية محدودة آتية».

كان الشيء نفسه ينطبق على الكون، فقد بدأ بانفجار وهو في انحدار منذ ذلك الحين. كل ذلك نبع من محاولة فهم المحركات البخارية.

الفصل الثامن

ألبرت أبراهام مايكلسون

مفقود في الفضاء



ألبرت إيه. مايكلسون

ليست هناك علامات بارزة في الفضاء؛ فكل جزء فيه مثيل لأي جزء آخر حتى إنه يتعذر علينا أن نجزم أين نحن. وتبدو الحال وكأننا في بحر لجّي دون نجوم أو بوصلة أو أشياء تحيط بنا أو ريح أو مدّ، ولا يمكننا الجزم في أي اتجاه نسير. ولا نملك مقياساً يمكننا أن نلقيه فنحصل على قياس تقريبي. من الممكن أن نحسب معدل حركتنا بالنسبة إلى الأجسام المجاورة لنا، لكننا لا نعرف كيف يمكن أن تتحرك تلك الأجسام في الفضاء.

- *جيمس كليرك ماكسويل، «المادة والحركة»*

(Matter and Motion)

كان ما يصفه ماكسويل بالنسبة لبحَّار عجوز كألبرت أبراهام مايكلسون (Albert Abraham Michelson) كابوساً؛ فكيف ينساق المرء في البحر ذات ليلة ليس فيها ريح توجهه ولا نجم يهتدي به. تعلم مايكلسون الفيزياء في شبابه عندما كان منتسباً للبحرية الأمريكية، وذلك في الأكاديمية بأنابوليس وفي المحيط، حيث كان يمارس فن الملاحة. كان على المرء أن ينسى كوبرنيكوس، وأن يفكر مثل بطليموس. أنت وسفينتك في الوسط والنجوم الدوّارة دليلك. ولكي تحدّد مكانك، يتعيّن عليك أن تأخذ في الحسبان سرعة سفينتك على أن تجري تعديلات بحسب سرعة الريح واتجاهها. لكنه مثلما يحتمل أن يصاب بالحيرة والضياع أي ملازم بحري شاب، كان مايكلسون يعلم أن سفينته ترعاها عين الرب وهي مستقرة عند خطي الطول والعرض الصحيحين. ولا شك في أن الأمر نفسه ينطبق أثناء إبحارنا في الكون. لا بد أن هناك معياراً ما يمكن القياس استناداً إليه.

هكذا كان يأمل. في عام 1885، كان مايكلسون نفسه قد ترك البحر طوال الأسابيع العديدة الماضية، ونزل في فندق نورماندي بمدينة نيويورك تحت رعاية طبيب نفساني مشهور. فقد فقد صوابه على حد قول معاونه إدوارد مورلي (Edward Morley)- فيشطح بأفكاره تارة، ويصيبه الاكتئاب تارة أخرى. حاولت زوجته أن تودعه مصحة نفسية، لكن الطبيب قرر في نهاية المطاف أنه لا يعاني

مرضاً خطيراً. كان من الواضح أن مايكلسون رجل مهووس بالضوء والألوان وبالطريقة التي يؤدي بها تصادم الأشعة إلى لمعة وهّاجة على أجنحة حشرة ما. وكان يتخيل موسيقى لامعة، حيث يجلس العازف أمام لوحة المفاتيح ويعزف نغمات مرئية من الطيف، وأوتاراً ملونة ونغمات متعاقبة «تصور جميع الخيالات والحالات المزاجية والمشاعر الإنسانية».

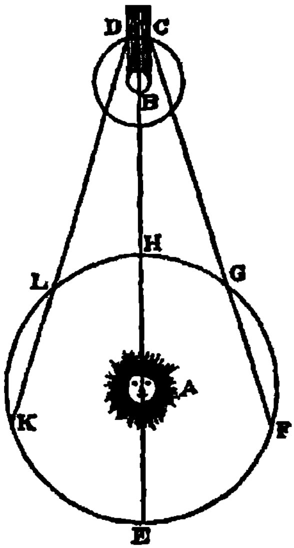
في نوفمبر 1885، أعد مايكلسون وهو في حالة من الخبل العدة للعودة إلى معمله بكلية كيس للعلوم التطبيقية بمدينة كليفلاند، فاكتشف أن شخصاً آخر قد حل محله، وأن راتبه سيقتطع منه جزء. عاد أدراجه إلى البيت على أي حال، وانتقل إلى غرفته الخلفية بعد أن شعر بأنه ليس مرغوباً فيه، وتأهب لتجربته الأعظم على الإطلاق مستعيناً بأشعة الضوء لحساب سرعة الأرض إزاء خلفية الفضاء الخارجي.

بيَّنَ جاليليو في كتابه «علمان جديدان» كيف يمكن للمرء أن يختبر ما إذا كان الضوء لحظياً أو يتحرك بسرعة محدودة. يقف المجرّب على قمة تل ما، ويسلّط ضوءاً ساطعاً باتجاه تل بعيد، حيث ينتظر معاونه الإشارة ويجيب بتسليط الضوء على الأول. إذا لم يكن هناك تلكؤ ملحوظ، يستنتج المرء أن «الضوء إن لم يكن لحظياً فهو سريع جدّاً».

ليس هناك تلال على الأرض بعيدة بالقدر الكافي الذي يجعلنا نجزم، ولكن في سبعينيات القرن السابع عشر اكتشف عالم الفلك الدنمركي أول رويمر (Ole Roemer) طريقة للقياس عبر المنظومة الشمسية. لاحظ رويمر، وهو يعد تلسكوبه لرصد كوكب المشتري في فترات معينة من السنة، أن أقرب أقماره، إيو، يبدو أنه يتباطأ في مداره. واستنبط رويمر أنه ما دام المشتري وأقماره يتحرك بعيداً عن الأرض، فإن ضوءه يستغرق وقتاً أطول كي يصل إلينا. وعند أخذ المعطيات التي كانت معروفة آنذاك عن المسافات الكوكبية بعين الاعتبار، أشارت أرصاده إلى أن سرعة الضوء تبلغ 225,000 كم/ ث تقريباً.

كان ذلك استنباطاً جريئاً- أيقن كبلر وديكارت أن الضوء يتحرك بسرعة لا حدود لها- ولم يتم تأكيد ذلك إلا بعد نصف قرن عندما اكتشف عالم الفلك الإنجليزي جيمس برادلي (James Bradely) ظاهرة تعرف باسم انحراف ضوء النجوم. تتبع برادلي النجم جاما دراكونيس (Gamma Draconis)، واكتشف أنه انحرف عن موضعه المتوقّع متحركاً بثبات باتجاه الجنوب من سبتمبر إلى مارس، ومن ثم إلى الشمال مجدداً. وبعد استبعاد الاحتمالات الأخرى، توصل إلى التفسير المنطقي: عندما يصل ضوء النجم إلى التلسكوب، تكون الأرض قد غيّرت موضعها. وكصياد بط يهتدي ببندقيّته، كان على عالم الفلك أن يهتدي بتلسكوبه. ووفقاً

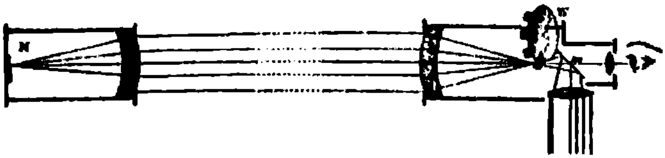
لبيانات برادلي، فإن الضوء ينتقل بسرعة 183,000 ميل/ ث.



رسم بياني أعده رويمر لكوكب المشتري (B) وهو يخسف قمره إيو (DC)
عند النظر إليه من نقاط مختلفة في مدار الأرض حول الشمس

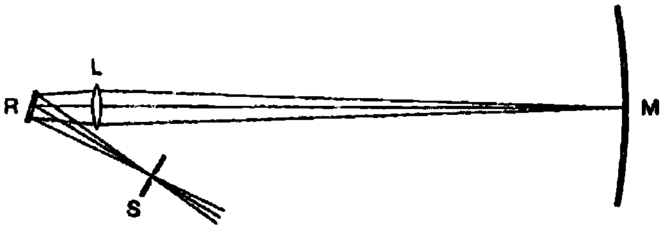
في عام 1849، أجرى الفيزيائي الفرنسي أرمان إيبوليت لويس فيزو (Armand-Hippolyte-Louis Fizeau) عملية قياس مباشرة بنسخة مطوّرة من مصابيح جاليليو الومّاضة. من بيت في الضواحي الغربية لباريس، وجه شعاعاً ضوئيّاً باتجاه مرآة على قمة تل مونتمارت فعكست الشعاع مرة أخرى. وبين البيت والتل تتخلل الطريق عجلة مسنّنة تدور بسرعة يبلغ عدد أسنانها 720 سنّاً. وعندما تم ضبط سرعة الدوران، كان الضوء الصادر

والوارد يمران عبر فجوة في محيط العجلة ويظهر في عدسته العينية في شكل «نقطة ساطعة كالنجم». عند إدارة العجلة بسرعة أكبر أو أقل، سينزوي الشعاع ويُخسف. واستناداً إلى طول الشعاع وسرعة العجلة، قدر فيزو أن سرعة الضوء تبلغ 196,000 ميل تقريباً (315,400 كم)/ ث.



تجربة فيزو. يسلط الضوء ليمر بين أسنان عجلة مسننة تدور بسرعة على مرآة (M) فتعكسه عبر العجلة مرة أخرى.

بعد 13 عاماً، نقّح منافسه ليون فوكو (Leon Foucault) تلك التجربة باستبداله العجلة المسننة بمرآة دوارة مثبتة بزاوية معينة. وفي شوطي الرحلة، يصطدم الشعاع بالمرآة في نقطتين مختلفتين قليلاً أثناء دورانها. توصّل قياس الإزاحة الطفيفة إلى أن سرعة الضوء تبلغ 185,000 ميل/ ث (297,000 كم/ ث).

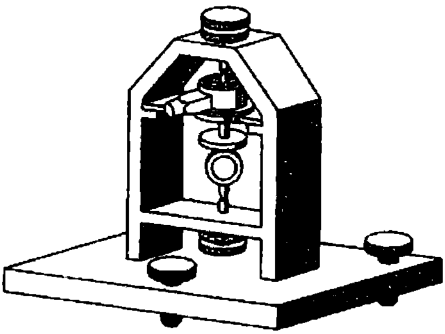


تجربة فوكو. ينحرف الضوء الصادر من المصدر (S) بعيداً عن المرآة الدوارة (R)، ثم يمر عبر العدسة (L) باتجاه مرآة أخرى (M). وعندما يعود الشعاع، تكون المرآة الأولى قد تحركت من مكانها محدثة انحرافاً طفيفاً.

تعلّم مايكلسون كل ذلك بالأكاديمية البحرية في أنابوليس، حيث وصل عام 1869 بطريقته غير المباشرة الخاصة. انتقل مايكلسون الابن الأكبر لمهاجرَيْن بولنديين مع عائلته إلى كاليفورنيا، حيث افتتح والده متجراً للأقمشة بأحد معسكرات التنقيب عن الذهب. ثم تبعت العائلة مسيرة التهافت على الفضة باتجاه نيفادا. وبعد المدرسة الثانوية، تقدم ألبرت بطلب للالتحاق بالأكاديمية. وعندما فشل في الحصول على موعد مع ممثّله في الكونجرس، بلغ به التهور أن استقل القطار المتجه إلى واشنطن وأقنع الرئيس يوليسيس جرانت (Ulysses S. Grant) بالتدخل. وبحلول عام 1874، كان مايكلسون قد عين برتبة ملازم بحري على متن السفينة البحرية الحربية ورسستر (Worcester)، وعمل بعد ذلك مدرساً للفيزياء والكيمياء في أنابوليس. وهناك التقى

بمارجريت همنواي (Margret Heminway)، ابنة أخي ضابط يرأس قسم الفيزياء وابنة أحد أباطرة وول ستريت. تزوجا في سنة 1877، وبعد زواجهما بعام شرع مايكلسون في الإعداد لأول تجربة كبيرة له مستعيناً بألفي دولار منحة من حميه.

في محاولة فوكو لحساب سرعة شعاع ضوئي، كانت الإزاحة من المرآة الدوارة أقل من مليمتر واحد، الأمر الذي جعل قياسها أمراً غاية في المشقة. أدرك مايكلسون أنه إذا استطاع أن يسلط شعاعاً على مسار أطول بكثير (كان مسار فوكو لا يتجاوز 20 متراً فقط)، فسيكون زمن التخلف (lag time) أكبر بكثير. وسيسقط الشعاع العائد على المرآة في وقت لاحق من دورته ما يؤدي إلى قدر أكبر من الانحراف، وقيمة أفضل لسرعة الضوء. وهو ما كان يعقد الآمال عليه.



رسم مايكلسون لمرآته الدوارة

بدأ مايكلسون بوضع مرآتين، إحداهما دوارة والأخرى ثابتة، تفصل بينهما مسافة 2000 قدم على طول الحاجز الشمالي المضاد للأمواج في الحرم الجامعي. ولقياس المسافة الفاصلة بدقة، استخدم شريطاً من الصلب تمت معايرته استناداً إلى نسخة من «الياردة القياسية». وبعد أن ثبت الشريط بشكل مسطح على طول الحادز بأوزان رصاصية، وحرص على أن يكون مشدوداً بشكل ثابت، أخذ العديد من القراءات. وبعد أن صحح القياسات واضعاً في الحسبان أثر الحرارة على تمدد الشريط وتقلصه، اتضح أن المسافة التي تفصل المرآتين هي 23 ,1986 قدم.

يجب أن يكون كل شيء على هذه الحال. لتعديل وضعية المرآة الثابتة، أي التي يرتد عنها الشعاع على طول المسار، استخدم تلسكوباً وجهاز مسح يسمى تيودوليت (theodolite). ولحساب سرعة المرآة الدوارة، استخدم مايكلسون شوكة رنانة كهربية (كان قد عايرها بمنتهى الدقة بالمقارنة بشوكة رنانة قياسية). ثبّت مرآة صغيرة من الصلب على سن من أسنان الشوكة، عكست صورة للجهاز الدوّار. وعندما يتطابق تردّد الذبذبات مع سرعة الدوران، تتجمّد الصورة كأنها ينظر إليها عبر مخيال (ستروبوسكوب).

وباستخدام آلة نفخ تعمل بالبخار لتدوير المرآة بسرعة 256 دورة في الثانية وتركيز ضوء الشمس عبر العدسة، قاس الانحراف في نهاية رحلة شعاع الضوء ووجده 133 مليمتراً «نحو 200 ضعف

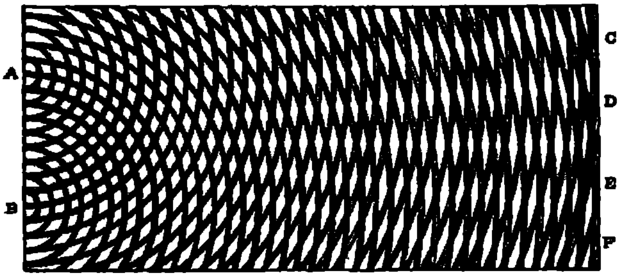
الانحراف الذي توصل إليه فوكو». وتمخضت بعض الحسابات عن قيمة بلغت 397 ,282 ,186. (إن العلماء على يقين شديد من تلك القيمة حتى أن المتر يحدد الآن وفقاً لسرعة الضوء لا العكس).

قالت صحيفة نيويورك تايمز، «يبدو من المقدّر أن يزيِّن اسم جديد لامع المجتمع العلمي في أمريكا»، متوقّعة أن تقاس سرعة الضوء في القريب العاجل «بدقة تكاد تضاهي قياس سرعة المقذوف العادي».

فيما كان مايكلسون يترك بصمته بمقياس السرعة البصري الخاص به، ظنّ العلماء أنهم حسموا مسألة ما إذا كان الضوء يتكوّن من جسيمات أو موجات. تخيّل نيوتن أن الضوء عبارة عن «أجسام كروية» حتى إنه حاول أن يفسر انكسار الضوء من هذا المنطلق. فبالمرور عبر منشور ودخول الهواء مرة أخرى، تكتسب الجسيمات ذات الألوان المختلفة دّومات مختلفة «ككرة تنس تتلقى ضربة بمضرب مائل».

كانت الظاهرة التي عرفت لاحقاً باسم «حلقات نيوتن» أصعب على الفهم، وهي عبارة عن أشرطة عدة داكنة وفاتحة اللون تظهر عندما تضم قطعة منحنية وأخرى مستوية من الزجاج إحداهما إلى الأخرى. ولما كان نيوتن يحاول أن يتعلّق بأي بارقة أمل، وضع نظرية مفادها أن الألوان نتاج جسيمات ضوئية تتعرض «لفترات انعكاس وانتقال».

لم تظهر أي نظرية أفضل من تلك حتى عام 1801 عندما أثبت توماس يونغ (Thomas Young، في تجربة الشق المزدوج الشهيرة) كيف يتداخل شعاعان ضوئيان متراكبان وينتجان نمطاً شبيهاً. واقترح يونغ أن الطريقة الوحيدة لتفسير تكمن في الموجات. تنشأ الأجزاء فاتحة اللون بقدر أكبر عندما تتداخل قمتا موجتين، أما الأجزاء الأكثر ظلمة فتتشكل عندما يتفاوت طور قمم الموجات. بعد إجراء تجارب توكيدية أخرى، أصبحت النظرية الموجية بمثابة شيء مُنزل، بيد أنها أثارت سؤالاً مؤرقاً: ما الذي كان يحدث الموجات؟



نمط التداخل لتوماس يونغ

كانت الإجابة التي ظهرت ضرباً آخر مما يتعذّر تقديره: «الأثير الوضّاء»، وهو شيء يفوق الوصف ويخلّل كل شيء، حتى في المساحات الفاصلة بين الذرات. كان يشاع أن لدى الأثير الرقيق رقة العدم ذاته القدرة على ذبذبة الضوء ونقله. والأهم من ذلك، أنه

يَعِدُ بترياق لكابوس «الملاح الفضائي». فعندما نساق في الفضاء، لا يمكننا تحديد موضعنا أو سرعتنا استناداً للنجوم المجاورة أن النجوم تتحرك أيضاً، لكن من الممكن قياس كل شيء استناداً إلى الأثير.

في عام 1880، أي بعد عامين من التجربة الشهيرة في أنابوليس، أخذ مايكلسون إجازة لمدة عام من البحرية للدراسة في أوروبا. وبعد أن سافر مع عائلته إلى باريس، حيث التحقت مارجريت بالمرحلة الدراسية النهائية، استشار الفيزيائيين الفرنسيين بشأن خطة لقياس حركة الأرض مقابل الأثير. فإذا ما صحت فرضيته، فإن من المفترض أن تتدنى قليلاً سرعة شعاع الضوء الذي يرسل في الاتجاه نفسه الذي تتحرك فيه الأرض حول الشمس، وذلك تأثراً بريح الأثير. وإثبات ذلك يتطلب قياس سرعة الضوء عكس اتجاه الريح وفي اتجاهها والمقارنة بين السرعتين. لكن الأمر يثير مشكلة. ينبغي أن يرتد كل شعاع عن مرآة، كما حدث في تجربة أنابوليس، كي يتسنى ملاحظة الانحراف. وأي تغيّر في سرعة الانتقال في اتجاه يلغيه الانتقال في الاتجاه الآخر. (فالإبحار ضد التيار ثم في اتجاهه يستغرق الوقت نفسه اللازم للإبحار مع التيار ثم ضده).

لكن ماذا لو أرسل الشعاعان متعامدين؛ أحدهما باتجاه مدار الأرض والآخر بالعرض؟ الآن على حد قول مايكلسون،

«سيجاهد سباح في حركته ضد اتجاه التيار وعائداً في الوقت الذي سيعبر فيه الثاني النهر ويعود قاطعاً المسافة نفسها. سيفوز السباح الثاني دائماً وأبداً إذا *كان هناك أي تيار في النهر*».

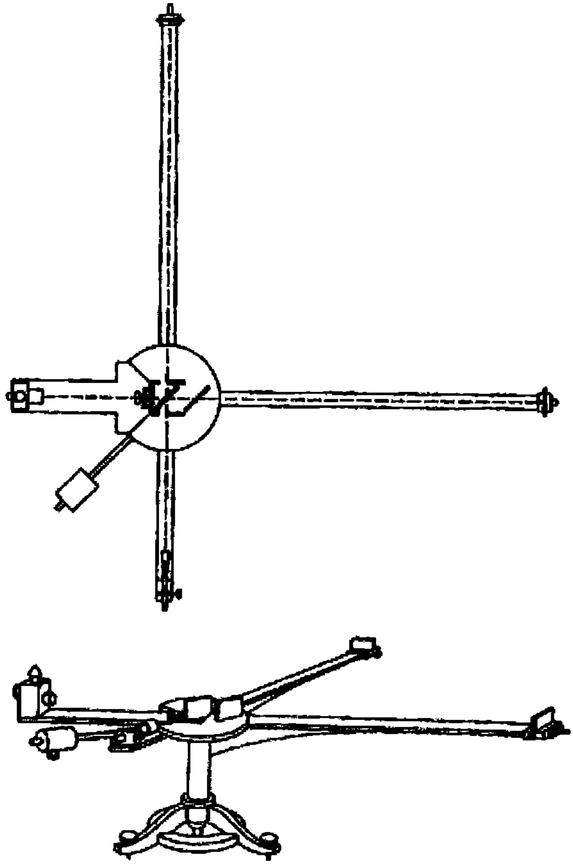
أو في حالة أشعة الضوء، إذا كان يوجد ريح أثيرية.

بدأ مايكلسون في تجميع جهازه بعد عودته إلى برلين في وقت لاحق من العام نفسه. كانت الأدوات البصرية المصنوعة يدوياً باهظة التكلفة، لكن مايكلسون وبمساعدة زميل له بالجامعة في بلده حصل على منحة من ألكساندر جراهام بيل (Alexander Graham Bell).

في التجربة، سيتم تركيز الضوء الصادر من المصباح على مرآة نصف فضية. تفصل المرآة الشعاع إلى «قلمين» ساطعين يتحركان في اتجاهين متعامدين. وفيما يتحرك الشعاعان على طول ذراعين نحاسيين مصنوعين ببراعة ودقة يصل طول كل منهما إلى متر، فإنهما ينحرفان بعيداً عن المرآتين ويعودان ليلتحما معاً مجدداً. وإذا تحرك الشعاعان بسرعات مختلفة، فيتفاوت طورهما، ولن تتوافق قمم موجاتهما بدقة.

والمحصلة حدوث أثر تداخل كذلك الذي وصفه توماس يونغ بأنه نمط من الخطوط أو «الأهداب» الداكنة والساطعة. وإذا قمنا بتدوير الأداة 90 درجة مما يغير من اتجاهها نحو النهر الأثيري، فستتحرك الأهداب. وبعد أن أخذ مايكلسون في الاعتبار سرعة

الأرض في مقابل الأثير والطول الموجي للضوء، توقع حدوث إزاحة تقدر بعُشْر هدب على الأقل، وهو الشيء الذي كان على يقين من قدرته على قياسه. (في تجربة حساسة جدّاً كهذه، فإن من المحتمل أن يفضي أي تذبذب إلى انحراف أطوال المسار وإفساد



أول مقياس للتداخل صنعه مايكلسون، منظر علوي وآخر جانبي

النتائج. لاحظ مايكلسون أن «تلك الأداة كانت حسّاسة بشكل استثنائي حتى أن النقوش المرسومة على الرصيف على بعد 100 متر تقريباً من المرصد تجعل الأهداب تختفي تماماً!»).

ولكي يحافظ على ثبات مقياس التداخل، قام بتثبيته برصيف حجري. وللحد من الاختلافات في درجات الحرارة التي قد تؤدي إلى تمديد أو انكماش الذراعين النحاسيتين، قام بتغطيتهما بصناديق ورقية، بل حاول أن يحيط الجهاز بثلج في مرحلة الذوبان. لم تكن الاحتياطات التي اتخذها كافية. فقد جعلت الضوضاء العارمة في برلين من الصعوبة بمكان تسجيل قراءة صحيحة، حتى بعد منتصف الليل.

انتقل مايكلسون إلى بوتسدام بحثاً عن أجواء أهدأ، وقام بتركيب جهازه في قبو المرصد الفيزيائي الفلكي. في البداية، قام بتدوير الجهاز، وظن أنه رأى تحولاً كبيراً في الأهداب، ثم اكتشف أنه إنما كان يثني الذراعين النحاسيتين دون قصد. وكان قد طلب إعادة صنع المحور، حيث يدور بحرية أكبر وأعاد المحاولة.

ظل يقيس يوماً بعد يوم محولاً مقياس التداخل في هذا الاتجاه وذاك، لكنه لم يستطع أن يجد سوى أدنى قدر من الإزاحة- بما يوازي 100/ 1 من الهدب- حتى أنه تجاهله باعتباره خطأً تجريبياً. حل شهر أبريل، وفيه تحركت الأرض في الاتجاه نفسه الذي يتحرك فيه النظام الشمسي بأسره، حيث زادت سرعتها في مقابل الأثير.

ومع ذلك، بدا أنه لا يوجد أثر ملموس. عندئذ كاتب مايكلسون ممول تجاربه بيل في سنة 1881، وأبلغه بالنتيجة السلبية. وأوضح أن تلك النتيجة يجب ألا تترجم على أنها داحضة لوجود الأثير، فلا بد أن هناك أثيراً. لكن لعل الخلفية لم تكن ثابته بأكملها، كما اقترح بعض الفيزيائيين. وربما يُسحب جزء من الأثير القريب من الأرض في رحلته حول الشمس. وكذلك لن تكون هناك ريح عند الانتقال في عين الإعصار. كانت ثقة مايكلسون بنفسه لا تهتز، وكتب بيل لاحقاً: «إنني أحترم قدراته جداً، رغم أنني أشك بسبب سلوكه في أنه يحترمها هو الآخر».

كان أمل مايكلسون الوحيد ألا يكون جرّ الأثير كاملاً، وأن يظل قدر كافٍ من الخلفية السماوية ثابتاً كي توفر علامة مرجعية يمكن القياس استناداً إليها. اقترح عالم فرنسي يدعى فرانسوا أراجو (Françios Arago) هذه الاحتمالية في فترة مبكرة من ذلك القرن، حيث حاول قياس سرعة ضوء النجم الذي يصطدم بالأرض. وكان أراجو قد افترض بطبيعة الحال أن تتباين سرعة الضوء وفقاً لما إذا كان الكوكب الدوار يدنو من مصدر الضوء أو ينأى عنه. فركّب منشوراً على طرف التلسكوب، حيث كان يتنبأ بأن من المفترض أن تنحرف أشعة الضوء الأسرع فجأة قبل الأشعة الأقل سرعة. وفوجئ عندما وجد أن الزوايا لم تتغير بتغير الموسم.

خلص أراجو إلى أن أعيننا حسّاسة لنطاق محدود فقط من

السرعات، وأن الأشعة الأسرع والأقل سرعة خفية عنها. لكن زميله أوجستن جان فرينيل (Augustin–Jean Fresnel) توصل إلى تفسير مختلف. فعلى الرغم من أن الأثير يتدفق بسلاسة وسهولة عبر الشقوق الجزيئية للمادة، فإن جزءاً طفيفاً ظل محصوراً داخل منشور أراجو، وتم اصطحابه في الرحلة. وهو ما من شأنه أن ينقض الأثر الذي كان يسعى إليه أراجو على حد تفسير فرينيل. عندما تدنو الأرض من نجم ما، كان ضوؤه يسقط على المنشور بسرعة أكبر، لكن سرعته تتباطأ حينئذ بقدر مكافئ بفعل الأثير المحصور داخل الزجاج. وينطبق هذا الأثر على أي وسط شفاف، على حد قول فرينيل، ويتوقّف على معامل انكساره- وهو مقياس لمدى قدرته على إبطاء الضوء وحنيه. ولذلك يمكن ملاحظة جرّ الأثير في الماء، ويتعذر ذلك في الهواء.

في سنة 1882، ترك مايكلسون البحرية بعد إجازته في أوروبا، والتحق بهيئة التدريس بمدرسة العلوم التطبيقية في كليفلاند التي كانت قد فتحت أبوابها توّاً. وخلال عامه الأول، قاس مايكلسون سرعة الضوء في الفراغ (بدقة تكاد تكون متناهية حيث بلغت 186,320 ميل/ ث). وبعد ذلك، وبمشاركة رجل أقام علاقة صداقة به خلال رحلة بالقطار إلى مونتريال، شرع يعيد النظر في تجربة الأثير.

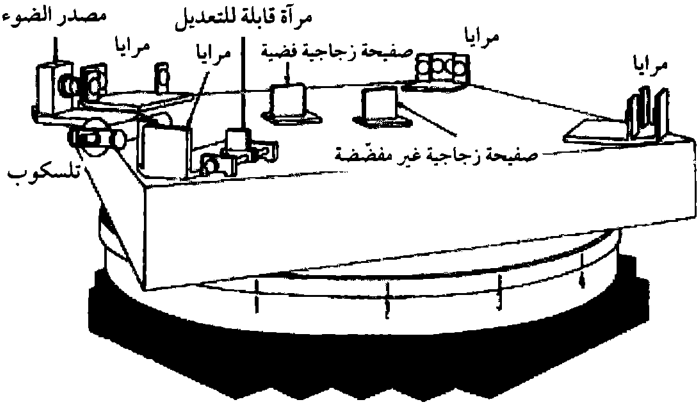
كان إدوارد مورلي (Edward Morley)، الكيميائي بجامعة

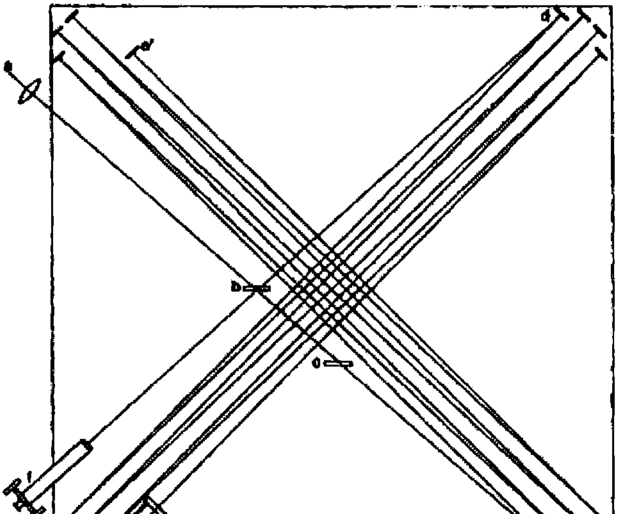
ويسترن ريزيرف المجاورة، عالماً شديد الدقّة مثل مايكلسون. اتفق العالمان على أنه من غير المنطقي الإقدام على محاولة أخرى لاستكشاف الحركة المطلقة للأرض ما لم يستطيعا أولاً التأكد من فرضية فرينيل التي تفيد بأن الخلفية السماوية ثابتة في الفضاء، ولا يجرّ إلا قليل من الأثير بواسطة الأجسام الشفافة. وهو أثر محدود جدّاً يمكن مراعاته. وإذ عمدا إلى تحسين تجربة أجراها فيزو من قبل، قاما بضخ الماء عبر حلقة من الأنابيب، وفصلا شعاع الضوء، حيث تحرك خيط منه مع التيار في الوقت الذي تحرك فيه الآخر ضد التيار. وفي نهاية المطاف، أكدا أن ثمة قوة دفع وسحب بفعل الماء حقّاً. (إذا وضعنا المفارقة التاريخية جانباً، فإنهما تعاملا مع هذه الظاهرة باعتبارها تأكيداً لفرضية جر الأثير، مع أنها تُفَسَّر الآن باعتبارها أثراً للنسبية الخاصة).

أثناء تلك التجربة، انهار مايكلسون لأسباب غامضة. فقد كان زواجه يمر بأزمة، لاعتقاده أن زوجته تتكلم أكثر من اللازم في المناسبات الاجتماعية محاولة أن تسرق الأضواء. وحدث أن تسلل إليها الملل في كليفلاند ومن سهر زوجها المتكرّر في المعمل أو أي مكان آخر. واشتكت من أنه يسحب نقوداً من مصروف المنزل لشراء معدات علمية. وعندما سافر مايكلسون إلى نيويورك للعلاج، ساورت مورلي الشكوك في أن مايكلسون لن يعود لمزاولة عمله مرة أخرى.

ربما كان ذلك تعلّلاً بالآمال. (فقد كان مايكلسون يعامل مورلي بخسّة، مثلما يعامل الناس جميعاً). لكن بعد أقل من شهرين، عاد مايكلسون إلى المعمل وهو على أهبة الاستعداد لاستكمال التجربة. عندئذ حدثت نكسة جديدة، ففي عام 1886 دمر حريق مدرسة العلوم التطبيقية، واضطر مايكلسون إلى نقل ما استطاع إنقاذه إلى جامعة ويسترن. وأخيراً، كان الاثنان جاهزين في ربيع العام التالي لما أملا أن يكون الاختبار الحاسم لتحديد «ما إذا كان الضوء ينتقل بالسرعة نفسها في جميع الاتجاهات» على حد قول مورلي. وكان يفترض مثل مايكلسون أن ذلك ليس صحيحاً.

في هذه المرة، اتخذ العالمان المزيد من الاحتياطات لتخميد أقلّ الذبذبات التي يمكن أن يتعرّض لها مقياس التداخل. ورُكِّبَت الأجزاء على بلاطة من الحجر الرملي مساحتها خمس أقدام تقريباً وسمكها 14 بوصة، متصلة بعوامة خشبية على شكل كعكة مُحلاة، تطفو داخل حوض مصنوع من الحديد الزهر يحتوي على الزئبق. وكان الحوض نفسه مثبتاً على مهد أسمنتي فوق منصة من الطوب. وُضعت 4 مرايا معدنية في كل زاوية كي تعكس الضوء الصادر من مصباح أرجاند جيئة وذهاباً ما يزيد من طول المسارين- المساير لحركة الأرض والمتقاطع معها- إلى 36 قدماً. كان هناك غطاء خشبي يحمي المعدات البصرية من الهواء. وبعد قياس المسافات الفاصلة بين المرايا وتعديلها- وهي عملية معايرة على درجة عالية





تجربة مايكلسون ومورلي. يوضح الرسم التخطيطي السفلي مساري شعاعي الضوء اللذين امتدا بفعل ارتدادهما جيئة وذهاباً بين ١٦ مرآة

من الدقة لدرجة أنها تطلبت مسمار ملولب بمئة سن في البوصة- بدآ التجربة.

بدأ مقياس التداخل التحرّك ببطء بدفعة باليد، دورة واحدة كل 6 دقائق، فيما سار مايكلسون بجانب الجهاز. وأخذ ينظر عبر تلسكوب المراقبة إلى أهداب التداخل مع الحرص كل الحرص على عدم المساس به، مملياً على مورلي قراءة عند 16 موقعاً حول القُرص. وفي الفترة من 8 إلى 12 يوليو، سجلا ملاحظاتهما في الظهيرة وفي المساء، ولم يعثرا على أي اختلاف. فقد عاد الشعاعان في الوقت نفسه.

كانا ينويان أخذ عيّنات خلال مواسم مختلفة لكي يتحققا مما إذا كانت الحركة الدائرية للأرض تحدث اختلافاً، لكن لم تكن هناك فائدة ترجى من ذلك. لا بد أن يكون فرينيل مخطئاً: ثمة كمية كبيرة من الأثير تجر مع حركة الكوكب ما يؤدي إلى طمس الأثر. لذا فإن قياس الحركة المطلقة للأرض يتطلب إجراء قياسات على ارتفاع شاهق فوقها، وربما في الفضاء الخارجي.

واصل مورلي وزميل آخر له يدعى دايتون كلارنس ميلر (Dayton Clarence Miller) رحلة البحث عن الأثير باستخدام مقاييس التداخل بمسارات ضوئية أطول. بل زعم ميلر أنه اكتشف المادة الهوائية بجهاز فوق قكمة جبل ويلسون، لكنَّ من الواضح أن التغيرات في درجة الحرارة جعلت الأمور تختلط عليه.

وفي عام 1930، أكدت تجارب مايكلسون التي أجراها على الجبل النتائج الأصلية التي توصل إليها مرة أخرى.

ولم تكن تلك النتائج تتفق مع مراده. في تلك الفترة، كان قد تزوج مرة أخرى، وصار أباً لعائلة ثانية، وحصل على جائزة نوبل. لكنه كان يبحث عن مصدر أعمق للدعم: الأثير، «وهو أحد أبرز التعميمات في العلم الحديث التي تغرينا الظروف بأن نزعم حقيقتها حتى لو لم تكن كذلك».

توفي مايكلسون في سنة 1931 بعد أشهر من لقائه بأينشتاين الذي فسرت نظريته الخاصة للنسبية الأهميةَ الحقيقية للتجربة البديعة لمايكلسون ومورلي. فقد أثبتا، على النقيض من توقّعاتهما، أنه لا وجود لخلفية ثابتة في الفضاء، ولا حتى للزمن. فعندما نتحرك عبر الكون، تتقلّص أدوات قياسنا أو تتمدّد، وتتحرك ساعاتنا تارة أسرع وتارة أبطأ من المعتاد للحفاظ على المعيار الوحيد الحقيقي. ولا أعني بذلك الأثير، بل أعني سرعة الضوء.

الفصل التاسع

إيفان بافلوف

قياس ما يتعذر قياسه



إيفان بافلوف

يجب أن نقر آسفين بأن أفضل الحيوانات المستأنسة لدى البشر- وأعني الكلاب- تصبح في الغالب ضحية للتجارب الفسيولوجية بسبب تطوّرها الفكري العظيم. ويستحيل استبدال الحيوان، أثناء التجارب المطولة، حيث يكون الحيوان عُرضة للملاحظة الممتدة بعد أن يفيق من التجربة التي أجريت عليه. بالإضافة إلى أن الموقف مؤثر جداً، الكلب يشارك أو يكاد يكون مشاركاً في التجارب التي يخضع لها، حيث يسهم بقدر كبير في نجاح البحث بتفهمه وإذعانه.

- إيفان بافلوف

إذا سمعت بافلوف (Pavlov) وهو يتحدث عن تلك الحيوانات المُجَنَّدَة للأبحاث التي جعلت منه رجلاً ذائع الصيت؛ خيل إليك أنهم متطوعون حقيقيون. فقد كانت لادا وليسكا وزوشكا أسماء كلاب عادية. وكان هناك بيستري (البقعة) ولاسكا (ابن عرس) وسوكول (الصقر)، وتسيجان (الغجري) وريزايا (ذو الرأس الأحمر)، وبودل، وفورون (الغراب). وكان هناك أيضاً آرليكن البهلوان، وكرازافيتس الجميل، وليادي النبيلة، وبوستريل السريع، وزلوداي اللص، وروجدي الأمير الروسي الكبير. كما كانت هناك مجموعة من الكلاب اسمها بايكال (تيمناً ببحيرة سيبيرية) وجنكيز خان. وفي البداية، كان هناك كلب يقال إنه مفضل لدى بافلوف، وكان هجيناً ووسطاً بين كلب صيد وكلب رعي يعرف باسم درووزهوك أو بادي أو ليتل فريند.

لقد كانت أوفر حظاً من حيوانات معامل الفسيولوجيا الأخرى التي لا تزال تستخدم الحيوانات الحية لمراقبة الوظائف التشريحية، وكان ذلك بالنسبة لبافلوف بمثابة تهشيم ساعة بمطرقة للتعرف إلى طريقة عملها. فبداية بدراساته الرائدة عن الجهاز الهضمي لدى الثدييات والتي ما زالت تمثل ركيزة أساسية في طب الجهاز الهضمي، كان بافلوف يفضل الأسلوب «الممتد»، حيث يتم- أثناء تخدير الكلب- تغيير معدته أو مريئه أو غدده اللعابية حتى يمكن جمع السوائل وتحليلها. واشتهر بافلوف بأنه أحد أبرع الجراحين

في أوروبا، وكان يعمل في ظروف معقمة أفضل من تلك المتاحة في مستشفيات كثيرة. ولم تكن المشاهدات لتبدأ إلا بعد أن يفيق الحيوان من تخديره بالكامل وهي فترة تمتد أشهراً أو سنوات.

في أوائل القرن العشرين، عندما تحول اهتمامه إلى الجهاز العصبي، كانت حالة التعايش قد اكتملت. في مقابل الإقامة الكاملة، صارت الكلاب حيوانات تجارب وجالبة للحظ أيضاً. وفيما بين الجلسات المعملية، كانت تؤخذ للسير في فناء المعهد. وكان بافلوف بين الحين والآخر، إذا ما أراد أن يوضح نقطة فسيولوجية بعينها، يلجأ إلى تجارب عنيفة يندم عليها فيما بعد. «عندما أقوم بتشريح حيوان حي وتدميره، أسمع بداخلي صوت تأنيب الضمير يقول إنني أسحق بيد قاسية آليةً فنيةً لا مثيل لها. لكنني أتحمل تأنيب الضمير طلباً للحقيقة، وخدمةً للبشرية». وفي عالم اعتاد صيد الحيوانات لأغراض ترفيهية ونحرها طلباً للطعام وطمعاً في جلودها، شعر بافلوف بأن استخدام قليل من الحيوانات وصولاً للمعرفة أمر له ما يبرّره.

كانت تلك هي الإجابة المعتادة التي تُلقى على مسامع مناهضي تشريح الحيوانات الحية ممن كانوا جزءاً من المشهد في روسيا، وانتشروا في شتى أرجاء العالم في عصرنا هذا. فمن منظورهم الشخصي، كانت تجارب بافلوف أبعد ما تكون عن الجمال والكمال. بل إن أصحاب الكلاب الذين لا يتأففون من كبد الإوز

على قائمة طعام المطاعم أو مصير فئران المعامل قد يجفلون من الوصف التشريحي. عزاؤنا الوحيد هو المعرفة المستخلصة من تلك التجارب. فقد فتحت التجارب التي أجريت على كلاب بافلوف بمنطقها الواضح وتصميمها المبدع البابَ أمام عالم بدا بعيداً كبعد النجوم: الجزء الداخلي للمخ.

كان بافلوف يتمنى أن يصبح قسيساً كأبيه بالكنيسة الأرثوذكسية الروسية. لكنه اكتشف داروين، كان ذلك في أواخر ستينيات القرن التاسع عشر، وكان إيفان (Evan) وأخوه ديميتري (Dmitry) يدرسان في كلية اللاهوت في ريازان حيث عاش آل بافلوف. في الصباح الباكر، كان إيفان يتسلل، بحسب الرواية، إلى مكتبة القرية للاطلاع على الترجمة الروسية الحديثة لكتاب «أصل الأنواع» (*On the Origin of Species*) إضافة إلى كتاب جورج هنري لويس (George Henry Lewes) «فسيولوجيا الحياة العادية» (*Physiology of Common Life*)، برسومه الشبيهة بالخرائط للأعضاء الداخلية، وكتاب إيفان سيكونوف (Ivan Sechenov) «منعكسات المخ» (*Reflexes of the Brain*)، وهو تمرين متطرّف في المادية المحضة يحاجج بأن العقل لم يكن أكثر من آلة شديدة التعقيد.

رأى سيكونوف أن كل سلوك بشري، من العطس إلى قرار مطالعة كتاب ما، يتكوّن من منعكسات- أي حركات عضلية تولدها إشارات تسجلها الحواس. وكتب سيكونوف: «إن جميع

خصائص الإشارات الخارجية للنشاط المخي بالكامل الموصوفة باعتبارها إشارات حيوية أو عاطفية أو إشارات سخرية أو أسى أو فرح إلخ، ما هي إلا نتائج انقباض أكبر أو أقل لمجموعة محددة من العضلات. وهذا فعل ميكانيكي بحت كما يعلم الجميع». وحتى عندما تطرأ على بال المرء خاطرة من تلقاء ذاتها، فإنها نتيجة لمنعكس، واستحضاراً لذكرى دفينة بفعل مؤشرات بيئية دقيقة. أعلن سيكونوف: «سيأتي وقت يتمكن فيه الناس من تحليل المؤشرات الخارجية لطريقة عمل المخ بسهولة تحليلَ العالم الفيزيائي الآن لحركة وتر موسيقي أو لظاهرة الجسم الساقط سقوطاً حرّاً».

كانت تلك أفكاراً مشجعة لابن القسيس. فتحْتَ حكم القيصر ألكسندر الثاني، أخذ شبح التنوير يتجلى في منطقة السهوب الروسية. فالكتب والصحف التي كان من الممكن أن تصادر أيام أبيه نيكولاس الأول؛ بدأت المكتبات في استقبالها حيث تجمعت الحشود على الأبواب في انتظار أن تفتح لهم وهم يتدافعون. ولكي يتغلب بافلوف على مشكلة التدافع، كان يتفق بين الحين والآخر مع أحد العاملين بالمكتبة على أن يترك له نافذة مفتوحة.

وإذ كان مبهوراً بفكرة أن الحيوان يمكن فهمه فهماً علمياً، فقد ترك بافلوف كلية اللاهوت في سنة 1870 للالتحاق بالدراسة في سانت بطرسبرغ. وسرعان ما انضم إليه ديميتري، ودرسا معاً الكيمياء على يد مندليف (Mendeleyev) الذي كان بصدد ابتكار

جدوله الدوري للعناصر. لكن إيفان ركز على على علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجيا) حتى حاز درجة الدكتوراه في الطب في نهاية المطاف تقديراً لتجاربه التي بيّنت كيف يتحكم الجهاز العصبي في ضغط الدم وضخ الدم إلى القلب. وفي عام 1891، نُصِّبَ رئيساً لقسم الفسيولوجيا بمعهد الطب التجريبي حديث الإنشاء، حيث استغل تقنياته الجراحية لتخطيط سلسلة وظائف- أطلق عليها اسم «مصنع كيميائي معقد»- يهضم الجسم من خلالها الطعام ويمتصه.

قبل أن توضع لقمة واحدة على لسان الكلب، كان اللعاب يتدفق في شكل ماء للتخفيف مخلوطاً بالموسين لتغطية الطعام بطبقة لزجة وتيسير طريقه إلى المعدة، حيث تم إعداد دفعة من «عصارة الشهية». هناك ولاحقاً في الاثنا عشري، تقوم مجسات عصبية متخصصة بتحليل الطعام وتعمل في الوقت نفسه كمؤشر للجسم لإفراز الوصفة الملائمة من سوائل المعدة اللازمة لهضم الخبز أو اللبن أو اللحم أو أي مما يتناوله الكلب في وجبة العشاء.

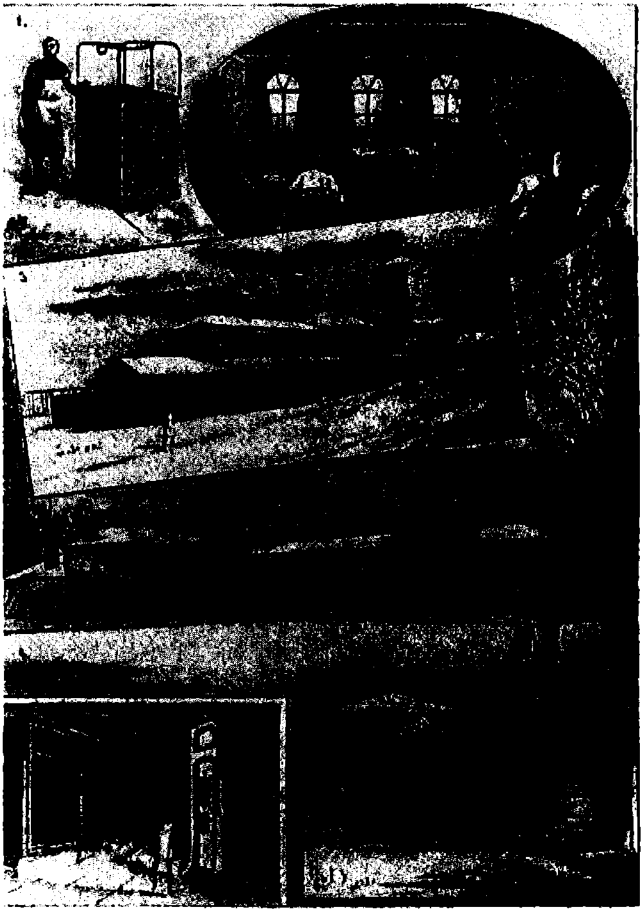
لاحظ بافلوف أن إفراز اللعاب يؤدّي دوراً آخر أيضاً. أعطِ الحيوان شيئاً سيئ المذاق- كزيت الخردل أو حامض خفيف أو ملح- وستجد أن اللعاب لا يفتأ يتدفق. لكنه يتكون من الماء في المقام الأول لحماية اللسان وإزالة المواد الضارة. وفي هذه الحالة، لم تكن هناك أي إفرازات معدية. لقد «عَرَفَ» هذا الكائن بشكل أو

بآخر أنها ليست ضرورية.

عرَّضَ بافلوف الكلاب إلى عملية بسيطة لقياس كمية اللعاب وتركيبته. فيما كان الحيوان مخدراً، نُقلت فتحة قناة تفضي من واحدة من الغدد اللعابية إلى خارج الذقن أو الوجنة، ثم ثُبّتت ببضع غرز. وفور أن التأم الجرح، جُمِعَ السائل وخضع للتحليل. وجد أن حصوات الكوارتز لم تنتج قطرة واحدة، في حين أطلقت حبات الرمل ماءً كي يتخلّص الكلب منه. وبالمنطق الفسيولوجي نفسه، سال لعاب الكلب على كسرة من الخبز الجاف بقدر أكبر من سيلانه على شريحة شهية من اللحم. لقد كان كل منعكس منسجماً بفعل التطور لضبط الإيقاع بين الحيوان وبيئته.

كتب بافلوف لاحقاً: «كل نظام مادي يمكن أن يوجد ككيان ما دامت قواه الداخلية وجاذبيته وتماسكه وما إلى ذلك توازن القوى الخارجية التي تُمارس عليه. وينطبق ذلك على الصخور العادية بالقدر نفسه الذي ينطبق على أغلب المواد الكيميائية، وينبغي أن يُعترف بحقيقته أيضاً بالنسبة للحيوان... المنعكسات هي الوحدات الجوهرية في آلية التوازن الأبدي».

في عام 1904، حاز بافلوف جائزة نوبل تقديراً لجهوده في مجال فسيولوجيا الهضم، وهو الشرف الذي كاد يُحرم منه عندما اكتشف معملٌ منافسٌ لمعمله أنه أغفل مكوناً مهماً من مكونات النظام هو الهرمونات. قال بافلوف بنبرة حتمية: «من الواضح أننا لم نصدر



مشاهد من معهد الطب التجريبي

براءة اختراع حصرية لاكتشاف الحقيقة». قرابة تلك الفترة، قرر بافلوف أن يترك الهضم لغيره من العلماء، وأن يركز على ما أسماه الأجزاء العليا للجهاز العصبي.

لاحظ بافلوف أنه لم يكن من الضروري في واقع الأمر أن يدخل الطعام فم الحيوان لكي يُفرز اللعاب، فقد تكون الرائحة أو ظهور قِدر الطعام أو حتى صرير مفصّلة الباب كفيلاً بأن يطلق ردة الفعل هذه، وهي ما أسماها بافلوف «إفرازات نفسية».

خلافاً للمنعكسات الفطرية- أعني الغرائز- يمكن تعديل هذه المنعكسات المكتسبة أو «الشَرطية». اعرض على الكلب شريحة من اللحم، ثم أبعدها. كرر الأمر مرات عدة، وستقل إفرازات اللعاب لدى الكلب. سيتولد لديه «كبت» للمنعكس. ثم يمكن لعينة من اللحم أو الخبز أو حتى من حمض سام أن تسترجع (أو «تزيل كبت») ردة الفعل هذه. وكما يكيّف التطور على مدار عصور طويلة نوعاً ما مع بيئته، تكيّف التجربة على مدار فترة زمنية طويلة الكائن الحي مع تفاصيل مكان بعينه، فقد تطورت لدى الحيوان القدرة على التعلم.

في مرحلة مبكرة، أُغري بافلوف بتفسير هذه الظاهرة نفسياً، حيث طفق يتصوّر الأفكار التي قد تتكشف تدريجياً داخل مخيّلة الكلب. فقد توقف الكلب عن إفراز اللعاب بعد إظهار شريحة اللحم مراراً وتكراراً لأنه فقد حماسه كما لو كان «اقتنع بعبثية جهوده». ولكن لماذا إذن استحضرت لمسة الحمض المقززة اللعاب مرة أخرى؟ وما الذي يمكن أن يدور برأس الكلب؟

بحسب بافلوف، كان هذا السؤال خاطئاً. فقد أعلن لاحقاً: «أي أدوات نمتلك كي ندلف إلى العالم الداخلي للحيوان؟ وما الحقائق التي تمنحنا أساساً للحديث عما يحس به الحيوان وطبيعة تلك الأحاسيس؟» والمنطق نفسه، كما لاحظ آسفاً، ينطبق على البشر. «ألا يتكوّن الأسى الأبدي للإنسان في أن البشر لا يستطيعون فهم بعضهم بعضاً؟ وأن المرء منا لا يستطيع أن يدلف إلى الحالة الذهنية للآخر؟».

لقد بدأ الخط الفاصل بين العقلي والمادي يشوبه التشويش. فعندما يدرس عالِم ما كيف يرتفع ضغط الدم وينخفض أو كيف تتدفق العصارات البنكرياسية، بحسب ما لاحظ بافلوف، فإنه يستخدم ألفاظاً مادية بحتة. «لكن عالم وظائف الأعضاء في عصرنا هذا ما إن يلتفت إلى الأجزاء العليا من الجهاز العصبي المركزي، حتى تتغير طبيعة بحثه على حين غرة... ويبدأ في الخروج بفرضيات حول الحالة الداخلية للحيوانات استناداً إلى حالته الذاتية الشخصية. وحتى خلال هذه المرحلة، فإنه يكون قد استخدم مفاهيم علمية عامة. والآن نراه يغيّر موقفه، ويكرس نفسه بالكامل إلى مفاهيم غريبة لا تمت بصلة للمفاهيم السابقة، وأعني الأفكار الفسيولوجية. وخلاصة القول إنه يقفز من العالم القابل للقياس إلى العالم المستعصي على القياس».

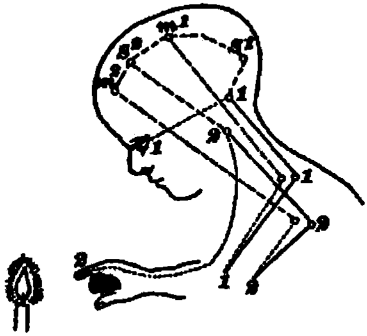
كان الوقت قد حان للتركيز على الهدف. فسواء كانت الغدد

اللعابية تستفزها مستقبلات في اللسان أو العين أو الأنف أو الأذن، فالنتيجة واحدة: ثمة إشارات من البيئة المحيطة هي التي تستفز ردة الفعل الفسيولوجية.

درس ديكارت في القرن السابع عشر فكرة مفادها أن الكائنات الحية، بما في ذلك أمخاخها، آلات بيولوجية، لكنه سَلَّمَ بأن ثمة شيئاً مميزاً يتفرد به أنداده من البشر. فعلى الرغم من أن أجسادنا ميكانيكية صرف، مجبرة على أن تخضع لقوانين الفيزياء، فإن عقولنا يسكنها كيان أعلى؛ وهو العقل. كانت اكتشافات داروين، في عهد بافلوف، قد جعلت من الصعب الإبقاء على هذا النوع من الازدواجية. فمن المفترض أن العقل قد تطور بالتزامن مع بقية أعضاء الجسم، ولكن كيف يمكن لعوامل الجذب المادية للانتخاب الطبيعي أن تُعْمِل أثرها في العقل الخيالي؟ وصف وليام جيمس (William James) تلك المشكلة في سنة 1890 في كتابه «مبادئ علم النفس» (The Principles of Psychology): «إن الذرات نفسها التي صنعت السديم، وهي منتشرة بصورة عشوائية، شكّلت الآن أدمغتنا بعد أن احتشدت وعلقت مؤقتاً في مواقع غريبة. وإذا ما فُهم «تطور» الأدمغة فهماً صحيحاً، فسيكون ببساطة سرداً لكيفية الإمساك بتلك الذرات واحتشادها».

لقد شطح بعض الفلاسفة حتى إنهم افترضوا أن كل ذرة

مادية تلازمها ذرة وعي؛ «غبار عقلي بدائي» حمله معه الكون وهو يتكشف والأجناس وهي تتطور. وفسَّر جيمس حجتهم قائلاً: «وكما شكلت الذرات المادية الأجساد والأدمغة بتجميعها معاً، اندمجت الذرات العقلية كذلك بفعل عملية تجميع شبيهة داخل تلك الإدراكات الأكبر».



طفل يكتسب منعكس تفادي النار. رسم تخطيطي من كتاب وليام جيمس «مبادئ علم النفس»

وبالتوازي مع ما سلف، فإن كل تفاعل كيميائي يجري في المخ يقابله فعل عقلي دون أن يمارس أي منهما سلطة على الآخر. وعبَّرَ توماس هنري هاكسلي (Thomas Henry Huxley) عن تلك الظاهرة كما يلي: «الروح للجسم كجرس الساعة للتروس، والوعي يستجيب للصوت الذي يصدر عن الجرس عندما يرن». وعندما «نقرر» تحريك أصبعنا، فإن هذا مجرد مؤشر فقط وليس مستثيراً للحدث. ورأى هاكسلي: «أن الإحساس الذي نطلق عليه

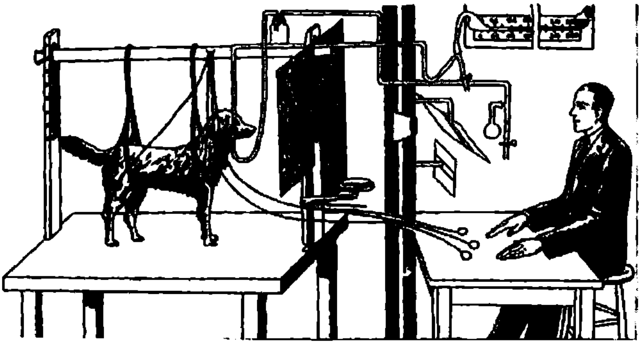
اسم 'الإرادة' ليس سبب الفعل الإرادي، بل إن رمز تلك الحالة الذهنية هو السبب المباشر لذلك الفعل». (بعد ذلك بعقد من الزمان، ادعى الفسيولوجي بنجامين ليبيت (Benjamin Libet) أنه أثبت الشيء نفسه).

إننا، بعبارة أخرى، بشر آليون. وصف جيمس تداعيات ذلك رافضاً:

«إذا ما أحطنا علماً بالجهاز العصبي لشكسبير، وبكل الظروف التي أحاطت به، فإن في استطاعتنا أن نعرف لمَ خطت يده على ضرب بعينه من الأوراق تلك العلامات السوداء العصية على الفهم التي نطلق عليها اختصاراً للتيسير اسم مخطوطة (هاملت)، ولكان بالإمكان أن نستوعب المنطق وراء كل حذف وتعديل في تلك المخطوطة دون أن نقر بأي حال من الأحوال بوجود الأفكار في عقل شكسبير. لقد كان من المفترض أن نتعامل مع الكلمات والعبارات لا باعتبارها مؤشرات على أي شيء يتجاوزها، بل باعتبارها حقائق خارجية هكذا ببساطة. وبالطريقة نفسها، يجوز أن نكتب السيرة الذاتية بكل تفاصيلها لتلك الكتلة شبه الزلالية البالغ وزنها 200 رطل والمعروفة باسم مارتن لوثر (Martin Luther) دون أن نُلمح أبداً إلى أنها تشعر بشيء».

لم يُطل بافلوف البحث في مثل هذه الأمور الميتافيزيقية، فكل ما يدور بخلد الكلاب يمكن تناوله بموضوعية من الخارج وحسب. و«يجب ألا يضع عالم الطبيعة سوى شيء واحد في اعتباره؛ ما العلاقة التي تربط ما بين ردة الفعل الخارجية للحيوان وظواهر العالم الخارجي؟».

سرعان ما أدرك بافلوف أنه لا يلزم أن تكون هناك علاقة فطرية بين هذه المؤشرات وبين مدلولاتها. فمن الطبيعي أن يسيل لعاب الكلب استجابة لرائحة اللحم، ولو أن هذه الاستجابة بدت مكتسبة أيضاً. (فالجرو الذي لا يزال يرضع من ثدي أمه قد ينتبه أنفه إلى رائحة شطيرة لحم). ولكنه، بتقديم اللحم في الوقت نفسه إلى جانب مثير آخر، يستطيع القائم على التجربة تدريب الحيوان على إسالة اللعاب استجابة لضوء مصباح، أو دوران شيء ما، أو لمسة مجس ساخن أو بارد، أو دقات بندول الإيقاع، أو صوت جرس، أو صفارة، أو شوكة رنانة، أو بوق. (لم يستخدم بافلوف جرساً قط)، فلا يوجد سبب لاستباق التطوّر مثل تلك الازدواجات الاعتباطية. لكن تلك الازدواجات، في ظل الظروف الراهنة، صارت ذات مغزى لبقاء الكلب.



تدريب كلب على إسالة اللعاب كلما وخزه مثيران ميكانيكيان

والشيء نفسه كان ينطبق على ردة الفعل اللعابية الدفاعية، فما أن يتذوّق الكلب حامضاً مخففاً مصطبغاً باللون الأسود، حتى يسيل لعابه بطريقة دفاعية عندما تقع عيناه على الماء الأسود. لكن المنعكس يختفي بعد أن يذوق ذلك المحلول غير الضار مرات عدة، ويعود مجدداً فقط إذا ما ذاق الحامض مرة أخرى.

كانت الروابط العصبية شديدة الطواعية حتى أنه كان من السهل تثبيتها وفصلها كما لو أنها كابلات في مقسم هاتفي. وبالقدر الكافي من التدريب، يمكن الربط ما بين مثير إيجابي كشريحة من اللحم وآخر بغيض. وبدلاً من أن ينفر الكلب من صدمة كهربية، فإن من الممكن أن يسيل لعابه تأثراً بها.

أصبحت ممارسة أسلوب بافلوف أوسع انتشاراً، بدأ معمله في

تفحّص إحساس الكلاب بالزمن. فبعد أن دُرِّب كلب على إسالة لعابه استجابة لضوء مصباح، تأخر المثير ثلاث دقائق، وسرعان ما تعلم الكلب التنبؤ بالتأخر الزمني. وبعد ثلاث دقائق من الإشارة، كان لعاب الحيوان يسيل على لسانه.

وفي تجارب أخرى، صار الوقت نفسه هو المثير. أعط الكلب طعاماً كل 30 دقيقة. وعندما يتوقف إطعامه، سيظل لعابه يسيل بطريقة آلية كل نصف ساعة. قال بافلوف بشيء من التعالي: «إنني مقتنع أنه بالتوازي مع هذا المسار التجريبي الدقيق يكمن حل مشكلة الوقت التي شغلت الفلاسفة أجيالاً لا حصر لها».

كانت الآلية العصبية للكلاب في منتهى الدقة لدرجة أنه كان من السهل تهيئتها للتمييز بين جسم يدور في اتجاه عقارب الساعة وآخر يدور عكس اتجاه عقاربها، وبين الدائرة والقطع الناقص (الإهليلج)، وبندول الإيقاع الذي يدق 100 مرة في الدقيقة وآخر يدق 96 أو 104 مرات في الدقيقة. إن لديها القدرة حتى على التمييز بين العلامات الموسيقية المتجاورة على السلم الموسيقي، وبين العلامة C والعلامة F حين تعزف كل منهما في خمس سلالم ثُمَانية (Octave) مختلفة على الأرغن، وبين درجات مختلفة من اللون الرمادي.

كان السياق عاملاً أساسياً في مثل هذه التجارب. فإذا تعلم كلب ما منعكساً جديداً وهو جالس على الأرض، فمن المحتمل

أن تفشل التجربة إذا أعيدت وهو جالس على طاولة، أو إذا قام بإجرائها شخص آخر. وكان من الضروري تفادي عوامل تشتيت الانتباه، مثل «وقع أقدام عابر سبيل، أو الحوارات العارضة في الغرف المجاورة، أو صفق الأبواب، أو الذبذبات الصادرة من شاحنة عابرة، أو صيحات المارة في الشارع، أو حتى الظلال التي تُلْقى داخل الغرفة عبر النوافذ، فكل ما سلف من مثيرات عارضة لا سبيل للسيطرة عليها تستقبلها المستقبلات العصبية للكلب تؤدي إلى اضطراب نصف الكرة المخية وتفسد التجارب».

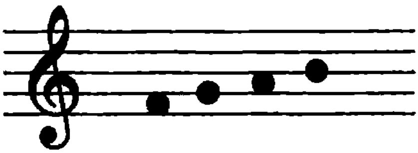
كانت كلاب بافلوف متقلبة المزاج مثلها مثل جهاز قياس التداخل لمايكلسون. وانطلاقاً من إصراره على التحكم في كل متغيّر محتمل، أمر ببناء «برج الصمت» المصمم تأسياً بالمعامل السيزمية (المتعلقة بدراسة الزلازل). وأحيطت البناية بخندق مملوء بالقش لإضعاف الذبذبات، وأضيف إلى طابقيه الأول والثالث غرف مراقبة عازلة للصوت معزولة بممرات وبينهما الطابق الخاوي. روقبت الكلاب أثناء التجارب من بعد عبر مناظير الأفق مما أضفى على المكان، على حد أحد الزوار، «طابع الغواصة المتأهبة لخوض المعركة».

كان «مصنع بافلوف للفسيولوجيا»، كما أسماه المؤرخ دانيال تودز (Daniel Todes)، مؤشراً على المستقبل الذي ينتظر العلم التجريبي. فتحت إشراف بافلوف، عكفت فرق البحث على
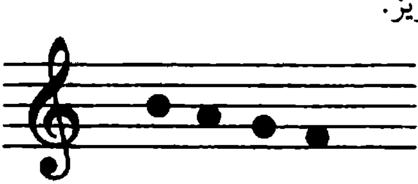
اختبار فرضيات على مئات الكلاب. ولعل النتيجة لم تكن تجربة واحدة بديعة، بل مجموعة من التجارب الجميلة. ومع ذلك، كانت هناك تجربة واحدة مفاجئة جداً حتى أنها تميزت عن غيرها من التجارب.

لقد أثبت بافلوف ومعاونوه بالفعل أن الكلاب تتمتع بقدرات موسيقية أساسية. فبعد تدريبها على إسالة اللعاب استجابة لوتر بعينه، على سبيل المثال A الثانوي، وجد أنها تستجيب- ولو بقدر أقل- إلى كل علامة موسيقية. وإمعاناً في تلك التجربة، شرع الباحثون في اختبار قدرة الحيوان على التعرف إلى النغمات البسيطة.

عندما عزفت أربع علامات موسيقية تصاعدياً، أُعطي الكلب بعض الطعام.



وعندما عزفت العلامات الموسيقية نفسها بترتيب تنازلي، لم يكن هناك تعزيز.



وسرعان ما استطاع الكلب التمييز بين متوالية من العلامات الموسيقية وأخرى. لكن، كيف يمكن للكلب أن يستجيب عندما يسمع اثنين وعشرين مزيجاً محتملاً للعلامات الموسيقية نفسها؟ هكذا سأل بافلوف نفسه.

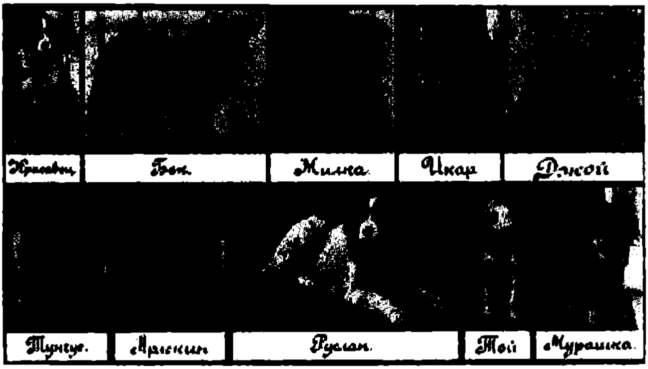
عُزفت النغمات وجُمع اللعاب، ووجد أن الكلب صنّف السلالم الموسيقية إلى مجموعتين متساويتين بناءً على ما إذا كانت درجة الصوت تصاعدية في الأغلب أو تنازلية. وليس من المغالاة الزعم بأنه تشكّل لدى الكلب مفهوم بدائي، ومن ثم اعتقد بافلوف أن هذا النوع من التعرف إلى الأنماط كان أصل ما يفعله هو نفسه باعتباره عالِماً تجريبياً.

«إن حركة النباتات تجاه الضوء والبحث عن الحقيقة من خلال تحليل حسابي- أليست هذه ظواهر تنتمي إلى المنظومة نفسها؟ أليست حلقات أخيرة في سلسلة تكاد تكون لا نهائية من حالات التكيف والتلاؤم التي تتجلى في كل مكان في الكائنات الحية؟».

إن بافلوف- مثل غيره من العلماء الذين توصلوا إلى نظرية قوية- كان يشطح أحياناً محاولاً أن يفسر شخصيات كلابه وحتى العصاب البشري باعتبارها حزماً من المنعكسات الشرطية. ففي الولايات المتحدة، ابتكر جون واطسون (John B. Watson) وبي إف سكِنر (B. F. Skinner) سيكولوجيا السلوك التي اختُزل فيها كل شيء عقلي إلى مثيرات وردود أفعال. والمحصلة نسختان

متضاربتان من المستقبل: تصف رواية سكنر «وُلدِن تو» (Walden Two) مدينة فاضلة تقام على أساس الهندسة السلوكية، فيما نجد الأدوات نفسها في رواية ألدوس هكسلي (Aldous Huxley) «عالم جديد شجاع» (*Brave New World*) تستخدم بمعرفة الدولة لفرض نظام دكتاتوري ساحق. ولم يتحقق أي من العالمين. وفي فترة أحدث، منح تشبيه العقل البشري بالكمبيوتر العلماء طريقة أكثر دقة للتأمل في التفكير، لكن كشف بافلوف الأساسي صمد؛ فالمخ والجهاز العصبي يشكلان جهازاً حيّاً دقيقاً بديع القدرة على التكيف.

في فترة متقدمة من حياة بافلوف، قدم طلابه له مجموعة صور لأربعين كلباً من كلابه.



كلاب بافلوف

واقتفى أثرَ نسخة من تلك المجموعة في سانت بطرسبرغ عالمٌ بمعمل كولد سبرينغ هاربر (Cold Spring Harbor Laboratory)، حيث كان يستخدم التكييف البافلوفي (نسبة إلى بافلوف) مع ذبابة الفاكهة بحثاً عن الجينات المرتبطة بالذاكرة طويلة الأجل.



نصب تذكاري لكلب

وأطلق على العديد من الطافرات اسم «ذبابات بافلوف» تيمناً بالحيوانات الشهيرة.

وفي عام 1935، أقيمت نافورة «نصب تذكاري لكلب» مزخرفة على أرض المعهد. وكان في وسطها منصة تمثال لكلب ضخم يجلس عليها، بالإضافة إلى شكل مجسم لمشاهد من المعمل واقتباسات من بافلوف تقول: «فليقدم الكلب رفيق الإنسان وصديقه منذ فجر التاريخ فداء للعمل، لكن أخلاقنا تملي علينا أن نضمن أن تكون التضحية دائماً خالية من أي ألم غير ضروري».

وحول قمّة المنصة، نحتت تماثيل نصفية لثمانية كلاب يتدفق الماء من أفواهها في شكل «تحية لعابية».

الفصل العاشر

روبرت ميليكان

في المنطقة الفاصلة



روبرت ميليكان

لقد لمسنا المنطقة الفاصلة التي تبدو فيها المادة والقوة وكأنهما مندمجتان؛ لمسنا ذلك المجال المبهم بين المعلوم والمجهول الذي طالما كانت له إغراءاته الخاصة بالنسبة إلي. وأجازف بالاعتقاد أن أعظم المشاكل العلمية التي تواجه المستقبل سنجد لها حلاً في تلك المنطقة الفاصلة، وما وورائها: هنا، كما يبدو لي، تكمن الحقائق المطلقة والدقيقة وبعيدة الأثر والرائعة.

وليام كروكس (William Crookes)، 1879

في صباح يوم من أيام يناير، وبحثاً عن آخر قطعة من المعدات أحتاج إليها لإقناع نفسي بوجود الإلكترونات، انطلقت إلى «الحفرة السوداء» (Black Hole)، وهي موقع نفايات جهنمي («يلقى فيه كل شيء، ولا يخرج منه أي شيء») في لوس ألاموس، بولاية نيومكسيكو. يدير هذا المخزن إدوارد جروتس (Edward B. Grothus). وهو صانع قنابل سابق وناشط سلام عجوز حالياً. أما مكان هذا المخزن فكان محل خردوات قديماً. والمخزن مملوء عن آخره من أرضيته وحتى سقفه بمرسمات الذبذبات ومولدات المؤشرات، وعدادات غايغر، ومضخات الهواء، وأجهزة الطرد المركزي، ومقاييس التيار الكهربي، ومقاييس مقاومة التيار الكهربي، ومقاييس الجهد الكهربي، وأوعية التخزين المبرّدة، والأفران الصناعية، والمزدوجات الحرارية، والمقاييس البارومترية، والمحوّلات، والآلات الكاتبة، والآلات الحاسبة الميكانيكية العتيقة؛ وتزيد مساحته على 17,000 قدم^2 من المخلفات الإلكترونية والميكانيكية التي تراكمت على مر السنين بفعل المعمل الوطني حيث بدأ مشروع منهاتن.

وعلى مر السنين، حصلت من موقع eBay على أغلب ما كنت بحاجة إليه لتكرار التجارب الكلاسيكية؛ تجربة جوزيف طومسون (J. J. Thomson) في سنة 1897 التي أظهر فيها أن الكهرباء شكل من أشكال المادة سالبة الشحنة، والتي تبعتها تجربة قطرة الزيت

الناجحة بعد ذلك بثلاثة عشر عاماً لروبرت ميليكان (Robert Millikan) التي عزل فيها شحنة إلكترونات مفردة وقاسها. وبعد أن نقَّبت في الأركان المظلمة للمخزن، عثرت في نهاية المطاف على ما كنت أبحث عنه؛ مصدر طاقة عالية الفلطية يعرف باسم Fluke 415B. مددت يدي فوق رأسي، وحرّرت بمنتهى الحرص الهيكل الطويل رمادي اللون من وسط كومة- كان يزن 30 رطلاً- وأنزلته على الأرضية الإسمنتية. وعلى الرغم من أنه بُني في ستينيات القرن العشرين ويعمل بواسطة الصمامات المفرغة، بدا أنه في حالة مثالية. وبعد أن جررته إلى الجزء الخلفي من المخزن حيث تتدلى أميال من الأسلاك متحدة المحور كالثعابين من الخطاطيف أو توجد ملفوفة على الأرض، عثرت على أحدها وكان ملائماً لوصلة الخرج، واتجهت إلى صندوق الدفع.

يبدو إدوارد وكأنه لا يود أن يبيع أي شيء في حقيقة الأمر، ويفضل- على ذلك- أن يطلعك على خطته بإقامة مسلّتين من الغرانيت لمفاجأة علماء الآثار الغرباء بعد المحرقة التالية، أو يطلعك على أول كنيسة للتكنولوجيا الحديثة حيث يعقد «قداساً حيويّاً» أيام الآحاد.

عندما وجده بعض الزبائن في أعماق مخبئه، كان ذا مزاج شكس. قال لي: «سيكلفك ذلك مئتين وخمسين دولاراً»، أي 10 أضعاف الرقم الذي توقعته. حاولت مساومته، فقد كان هناك

غرض يشبهه تماماً على موقع إيباي لقاء 99 دولاراً فقط، لكن إد لم يكن بالرجل الذي يقبل المساومة. وبعد أن أُحبطت، سحبت الوحدة إلى مكانها حيث لا تزال مستقرة إلى الآن، وغادرت ومعي الكبل فقط. توقفت عند المكتبة العامة بجوار مبنى فولر لودج، حيث كان أوبنهايمر (Oppenheimer) وغيره من علماء الطاقة النووية يحتفلون ويتناولون العشاء، وسجلت دخولي على شبكة الإنترنت، واشتريت مصدر الطاقة الآخر. وقد وصل بعد أسبوعين، وأصبحت على أهبة الاستعداد للبدء.

في عام 1896، كان روبرت أندروز ميليكان، الفيزيائي الشاب الذي نال للتو درجة الدكتوراه من جامعة كولومبيا، بصدد حضور محاضرة في برلين، حيث يعرض فيلهيلم رونتجن (Wilhelm Roentgen) صوراً التقطها لعظام داخل يد إنسان. وكانت المناسبة اجتماع في يناير للجمعية الفيزيائية الألمانية، وشعر ميليكان بذهول طفولي حتى أنه أخطأ لاحقاً في استرجاع مناسبة الحوار زاعماً أنها ليلة عيد الميلاد.

قبل ذلك بعامين وفي الولايات المتحدة، سمع ألبرت مايكلسون العظيم يتنبأ بأن علم الفيزياء ما زال لديه الكثير ليقدمه. فقد كانت قوانين الحركة والبصريات راسخة، ودعمت معادلات ماكسويل العلاقات التي أقامها فاراداي وجيله بين الكهرباء والمغناطيسية.

واستمر هاينريتش هيرتز (Heihrich Hertz) في التحقق من نظرية ماكسويل، حيث أثبت أنه يمكن عكس موجات الراديو وكسرها وتركيزها واستقطابها؛ أي أنها نوع من أنواع الضوء. ولكن، ها نحن أولاء أمام ظاهرة جديدة وغير متوقعة بالمرة، أشعة إكس.

سُرَّ ميليكان عندما أدرك أن الاعتقاد السائد كان خاطئاً. «لم نقترب بالقدر الكافي من سبر أغوار الكون، حتى في مسألة المبادئ الفيزيائية الأساسية كما ظننا».



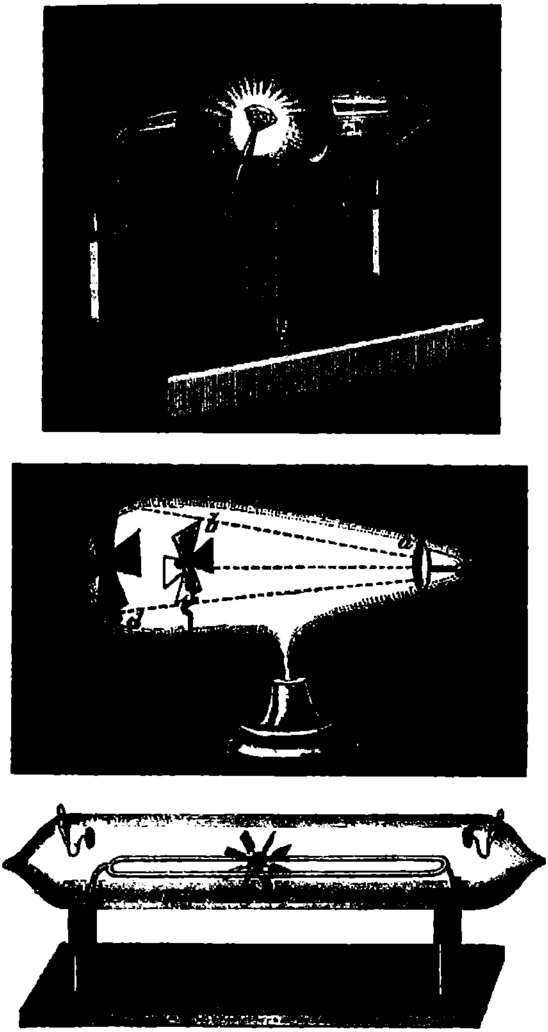
أشعة رونتجن
نظرة داخل يد بشرية

خرج علينا رونتجن باكتشافه المدهش وهو يدرس البقعة المتوهجة التي تظهر في نهاية أنبوب مفرغ «أنبوب تفريغ» عند

تمرير فلطية عالية بالقدر الكافي عبر قرصين معدنيين داخل كاثود سالب الشحنة وأنود ذي شحنة موجبة (وتلك مسميات اقتبسها من فاراداي). كانت أشعة الكاثود التي تنتقل عبر الهواء المنقى مُحيَّرة جدّاً، إذا صمّم أنبوب بداخله انسداد- استخدم الكيميائي والروحاني وليام كروكس صليباً مالطيّاً- يُظهِر ظلاً على الزجاج المتوهّج ما يعد دليلاً على أن الأشعة تحركت كالرصاصة في خطوط مستقيمة. وإذا ما وضع مغناطيساً على مقربة من الأنبوب، كان الشعاع ينحرف إلى أحد الجانبين. ثبّت حجراً كريماً بالداخل، فيشع تألّقاً. بدا أيضاً أن للأشعة مادة أرياش دولاب تجديف صغير.

زعم كروكس أن «تلك حالة جديدة من حالات المادة». وبذلك تصبح حالات المادة؛ الصلبة والسائلة والغازية والمشعة.

كان كشف رونتجن أكثر غرابة: إذا سقط الشعاع على طرف الأنبوب بقوة كافية، فإنه يطلق العنان لضرب آخر من الإشعاع ذي قوة تكفي لاختراق اللحم. وبعد ذلك بأقل من عام، اكتشف هنري بيكريل (Henry Becquerel) في باريس شكلاً آخر من أشكال الأشعة الثاقبة الصادرة من كتل من اليورانيوم والمارة عبر درع كمد تاركة أثراً على لوح فوتوغرافي. وسرعان ما عرف أن نوعي الإشعاع يمكنهما تأيين الغازات ما يمنحها شحنة كهربية، ونعلم الآن أنهما يفعلان ذلك عن طريق طرح الإلكترونات الذرات.



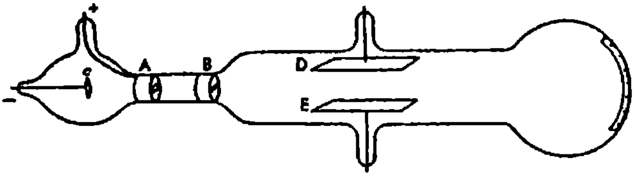
أنابيب كروكس: أشعة الكاثود تضيء ماسة، وتعكس ظلاً لصليب مالطي، وتحرك دولاب تجديف صغيراً

عندما عاد من أوروبا للعمل في جامعة شيكاغو التي يسيطر عليها مايكلسون، راقب ميليكان عن بعد أعظم علماء أوروبا وهم يستكشفون الفيزياء الجديدة. ففي معمل كافينديش (Cavendish Laboratory) في كمبردج بإنجلترا، أثبت جوزيف طومسون أن الأشعة لا تنفّرها المغانط فحسب، وإنما الحقول الكهربية القوية أيضاً.

حاول هرتز نفسه لكنه فشل في تجربته التي انتقل فيها شعاع بين لوحين متوازيين داخل أنبوب مفرغ. عندما شحن اللوحين ببطارية، لم يتزحزح الشعاع. واعتبر هرتز أن ذلك يعني أن الأشعة اضطراب غير محسوس في الأثير. (كان درس مايكلسون مورلي لا يزال راسخاً في العقول).

ارتاب طومسون في أن هرتز لم يضخ القدر الكافي من الهواء إلى خارج الأنبوب لدرجة أن الجزيئات الباقية عملت كدائرة قصر للوحين كما لو كانا قد تعرضا للأمطار. وباستخدام أفضل تفريغاً، استطاع تحريك الشعاع تجاه القطب الموجب، وهو ما يعد مؤشراً قوياً على أن أشعة الكاثود مصنوعة من مادة سلبية الشحنة؛ ألا وهي الإلكترونات.

لم أكن أنتوي شراء جهاز طومسون الخاص بي، لكن من المتعذّر مقاومة جماله: الإطار الخشبي البسيط الذي يحتضن الأنبوب المفرغ المدبب بصيلي الشكل، بالإضافة إلى ملفّي هلمهولتز (تيمناً

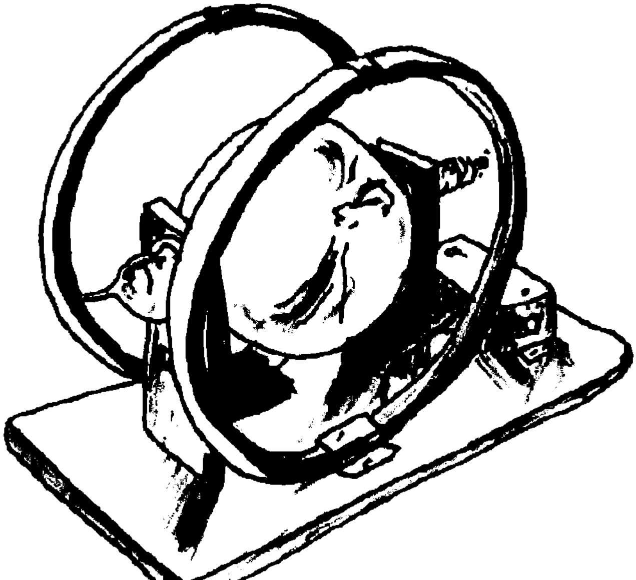


تجربة جوزيف طومسون. تشع أشعة الكاثود عند C، وتنجذب عبر الأنود إيجابي الشحنة A، ومن ثم عبر الشق B ومن بين اللوحين D وE قبل أن تترك بقعة في طرف الأنبوب. يؤدي شحن اللوحين إلى تحريك الشعاع.

بالفيزيائي الألماني هرمان فون هلمهولتز (Herman von Helmholtz على جانبي الأنبوب. تفصل بين الملفّين مسافة تساوي نصف قطرهما- 15 سم- لذا يُغرقان الأنبوب بحقل مغناطيسي منتظم. لقد صُنع هذا الجهاز في ألمانيا كي يُستخدم في فصول الفيزياء، أما اللمسة الأخيرة الرمادية على صندوق التوصيلات الكهربية فكشفت عن أن تاريخه يرجع إلى الستينيات.

ولم يكن دليل الاستخدام مرفقاً، بل كانت هناك ورقة رسم ضخمة خَط عليها أحدهم بأقلام رصاص ملونة رسماً للأسلاك الكهربية، حيث تطلبت الشعيرة الكهربية جهداً يبلغ 6,3 فلط لتسخين الكاثود المعدني وطرد الإلكترونات التي يمكن تسريعها بجهد إيجابي أكبر بكثير على الأنود. ومن الممكن هنا أن يُنَشِّط مصدر ثالث للتيار ملفّي هلمهولتز، ومن ثم قمت بتوصيل الأسلاك بمصدر الطاقة الخاص بي وأطفأت المصابيح.

كان المشهد غريباً. عندما زدت جهد الأنود ببطء، تجمعت غمامة مائلة إلى الخضرة على شكل قلب حول الكاثود، وازدادت حجماً وضخامة إلى أن انطلق فجأة شعاع أزرق من الجذر وضرب قمة الزجاج من الساق وضرب قمة الزجاج ، بعد أن زاد الجهد قليلاً على 160 فلطاً.



نسخة حديثة من جهاز طومسون بريشة أليسون كنت

الجني في الزجاجة! لا بد أن ذلك المشهد كان مرعباً جداً لكروكس وغيره من رواد الأشعة الكاثودية، فقد ظن بعضهم أنهم يرون الغشاء الهيولي (ectoplasm)، أو مادة شبحية. وإذا ما

أمسكت بقضيب مغناطيسي بجانب الزجاج، قمت بحركة ملتوية سحرية، وأشار القطب الأسود بالشعاع تجاهي فيما دفعه القطب الأحمر جانباً.

الخطوة التالية هي تنشيط الملفات. عندما حركت المقبض لأعلى، انحنى الشعاع فجأة ببطء لأسفل وشكل دائرة متوهجة داخل الأنبوب عند جهد 3,5 فلط و0,76 أمبير. وفيما كان الأنود يحاول استقطاب الإلكترونات لأعلى مباشرة، كانت تلك الريح المغناطيسية تدفعها جانباً بقوة في صراع عمودي أدرك طومسون أن نتيجته تتوقّف على كتلة الجسيمات وشحنتها. لا تستطيع تجربته أن تطلعك على أي من القيمتين بمعزل عن الأخرى (الجسيمات خفيفة الوزن المشحونة بشحنة بسيطة يمكن أن يكون مسلكها مماثلاً للجسيمات الأثقل وزناً ذات الشحنة الأكبر)، لكنها تكشف لك عن نسبتها.

وضعت أرقامي- أعني جهد الأنود والتيار الساري في الملفات ونصف قطر الدائرة المتوهجة- داخل المعادلة وأجريت العملية الحسابية: $2,5 \times 10^{8}$ كولوم لكل جرام. (سُمي «الكولوم» بهذا الاسم تكريماً للعالم الفرنسي تشارلز أوجستن دو كولوم. ويعرف الكولوم بأنه كمية الكهرباء السارية كل ثانية تقريباً عبر لمبة قوتها 100 واط). وكانت النتيجة التي توصلت إليها أكبر بنسبة 50٪ من القيمة المقبولة، لكنني حصلت على العدد الصحيح من الأصفار

على أقل تقدير.

الأهم من ذلك ما طفق طومسون يبينه: أن نوع الغاز الموجود في الأنبوب أو نوع المعدن المستخدم في صنع الكاثود لم يكن مهماً، فقد ظلت النسبة ثابتة، وكانت الأشعة ناشئة من المادة نفسها.

يا لها من مادة غريبة! لقد قيست نسبة الشحنة إلى المادة لذرة الهيدروجين- وهي أخف العناصر كلها- أثناء انتقالها بين قطبي الخلية الإلكتروليتية (التحليلية). وكانت قيمة الإلكترون أكثر ألف مرة تقريباً؛ إما أن شحنته كانت هائلة، وإما كما قال طومسون: كان أصغر بكثير من الذرة، ومن ثم خطر له أنه وقع على كشف مذهل: الجسيم دون الذري.

في عام 1906، كان ميليكان يشعر وكأنه لم يحقق شيئاً؛ فقد مرَّ عقد كامل عليه في شيكاغو ولا يزال أستاذاً مساعداً. رأى نفسه مدرساً بارعاً، حيث كانت كتبه الدراسية تحقق مبيعات جيدة، لكنه شعر بالإحباط لأنه بلغ الثامنة والثلاثين من العمر، وهو عمر كبير نسبياً للفيزيائيين، ولم يحقق أي إنجاز مهم.

كان ميليكان على يقين من أن تجربة طومسون، على الرغم من أنها مدهشة، إلا أنها لم تحسم القضية بعد. الجميع يعلم أن الإلكترونات تأتي في شكل كمية كبيرة من الشحنات والأحجام التي تتمخض في نهاية المطاف عن النسبة نفسها، وقد افترض طومسون أنها متطابقة. وفي مواجهة عدم اليقين، ظل الألمان،

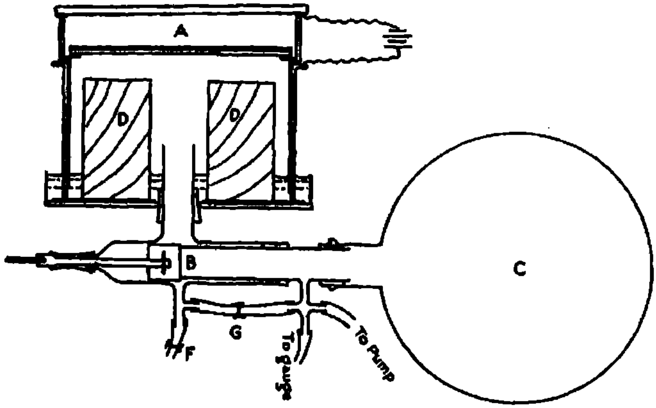
تحديداً، مرتابين والتزموا باعتقادهم بأن الكهرباء عبارة عن موجة أثيرية. وغدا السبيل الوحيدة للخروج من هذا المأزق قياس أحد أرقام نسبة طومسون؛ إما كتلة الإلكترون وإما شحنته.

بدأ ميليكان بتكرار تجربة قاس فيها أحد العلماء في معمل طومسون في «كافينديش» سرعة استقرار سحابة من بخار الماء- تم تأيينها باستخدام أشعة إكس أو الراديوم- في قاع وعاء مغلق. كان يوجد فوق السحابة وتحتها لوح معدني متصل بقطبي بطارية. وبمراقبة أثر المجال المغناطيسي على سرعة هبوط السحابة، يمكن حساب شحنتها الإجمالية. وبقسمة هذا الإجمالي على تقديرك لعدد الجسيمات المشحونة الموجودة في السحابة، يمكنك تقدير قيمة متوسطة تقريبية للإلكترون.

كانت هذه التقنية التي تنطوي على استخدام جهاز يعرف باسم غرفة ويلسون السحابية محفوفة بالكثير من الشكوك والفرضيات، وكان البخار يتلاشى باستمرار تاركاً الحد العلوي للسحابة غير مستقر وضبابيّاً حتى إن مراقبة حركتها كانت باعثة على الإحباط، فزاد ميليكان الجهد على أمل أن يبقي على هدفه ثابتاً ومعلقاً بين الموجب والسالب، ومن ثم يستطيع قياس معدل التبخير وتقدير قيمته في حساباته.

وبدلاً من ذلك، ضغط ميليكان على المفتاح وعصف بالسحابة، ففشلت التجربة... أو هكذا بدا الأمر حتى لاحظ أن بضع قطرات

من المياه ظلت معلقة في الهواء بوزن وشحنة صحيحتين، حيث توازنت قوة الجاذبية بالقوة المحلقة للمجال الكهربي.



غرفة ويلسون السحابية. يؤدي صمام الفتح B إلى حدوث فراغ C لشفط الأرضية الموجودة أسفل الغرفة A المملوءة بهواء رطب. ويتسبب توسع الحجم في تكون السحابة.

أدرك ميليكان أن ذلك سيمهد الطريق إلى تجربة أكثر حسماً، وبدلاً من دراسة السلوك الكلي لسحابة كاملة من القطرات، فإنه يمكنه ملاحظتها الواحدة تلو الأخرى. وبالتحديق في تلسكوب صغير مجهز على بعد قدمين، سيتمكن من التقاط قطرة تحوم معلقة ويقطع الجهد (الفلطية) فجأة. وبالإمساك بساعة توقيت بيده حسب وقت السقوط بين الخطين الشعرين لعدسته العينية. ثم سجل البيانات ساعة تلو الأخرى مقارناً بين الوزن المقدر للقطرة

الواحدة وكمية الشحنة اللازمة للحفاظ على طفوها. قال ميليكان إن الإجابة كانت دائماً: «1، أو 2، أو 3، أو 4، أو مضاعف آخر محدد لأصغر شحنة على القطرة الصغيرة التي حصلت عليها». وحقيقة الأمر أنه قد بدا أن الشحنة تأتي بكميات متجانسة قدَّرها بأنها تساوي: $1,55 \times 10^{-19}$ كولوم.

في سبتمبر 1909، سافر ميليكان إلى وِنيبيج (Winnipeg) لعرض النتائج التي توصل إليها- ولا يزال يعتبرها مبدئية- في اجتماع للجمعية البريطانية لتطوّير العلوم. وقد ألقى طومسون بنفسه الكلمة الرئاسية، فيما ألقى إيرنست رذرفورد (Ernest Rutherford) الذي حاز جائزة نوبل محاضرة عن وضع الفيزياء الذرية، مبيناً أنه على الرغم من الإنجازات الأخيرة فإنه «لم يتسن حتى الآن الكشف عن إلكترون واحد». بعد ذلك، فاجأ ميليكان الذي لم يكن على أجندة أعمال الاجتماع الجميع بأنه اقترب من تحقيق هذا الإنجاز تحديداً.

وفي طريق العودة مستقلاً القطار، فكَّر في كيفية عرض نتائجه بطريقة أكثر إقناعاً. نظراً إلى التبخر، فإن فترة حياة كل قطرة ماء تقاس بالثواني. ومن الأفضل لو استطاع تتبع قطرة واحدة دقائق عدة أو حتى ساعات مع تعديل الجهد بزيادته تارة وخفضه تارة. وفيما كان يحدق في سهول منيتوب، خطر له الجواب في لحظة عابرة.

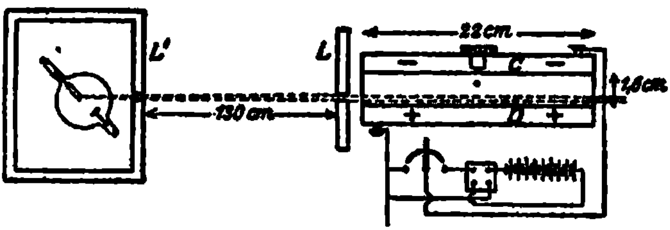
بعد أن وصل إلى شيكاغو، طلب من هارفي فلتشر (Harvey Fletcher)، وهو طالب بمرحلة الدكتوراه كان يبحث عن موضوع لأطروحته، أن يرى ما إذا كان بالإمكان إجراء تجربة القطرة الصغيرة بشيء أبطأ زوالاً من قطرات الماء. اشترى فلتشر قنينة بخّاخة وزيت تنظيف لتروس الساعات من أحد المتاجر المحلية، وشرع في تجميع المعدات: لوحان دائريان من النحاس الأصفر: العلوي منهما مثقوب من المنتصف ومثبت على منضدة معملية مضاءة من الجانب بمصباح ساطع. ثم رش رذاذاً من الزيت فوق هذا الجهاز، وراقب عبر التلسكوب. في وقت لاحق، استرجع ذكرى تلك التجربة قائلاً: «رأيت مشهداً من أجمل المشاهد قط».

كان المجال مملوءاً بنُجَيمات ملوّنة بجميع ألوان قوس قزح. وسرعان ما هبطت القطرات الأضخم حجماً على القاع، ولكن بدا أن القطرات الأصغر حجماً منها تبقى معلقة بالهواء قرابة دقيقة، وتؤدي أجمل الرقصات.

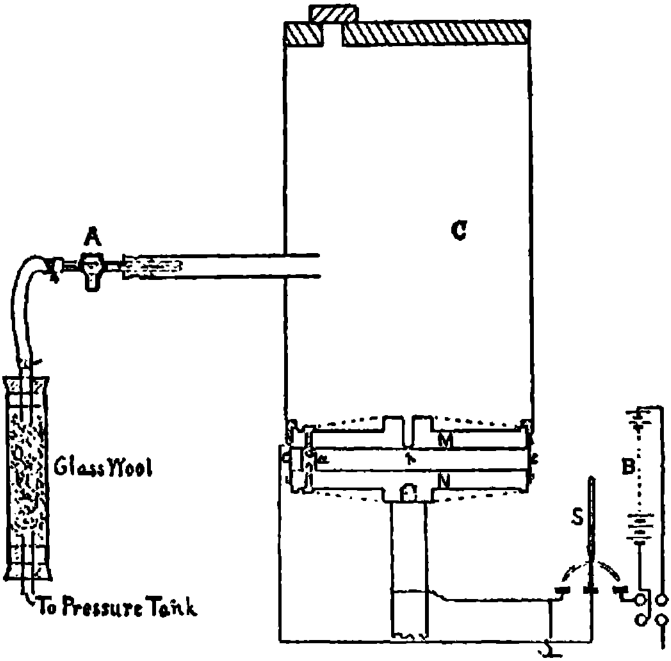
بحلول صباح اليوم التالي، كان فلتشر قد تمكن من جلب مجموعة كبيرة من البطاريات القادرة على توليد ألف فلط، وقام بتوصيلها باللوحين النحاسييْن. وبعد أن قام بتوصيل التيار، شاهد بحماسة بعض القطرات الصغيرة تندفع لأعلى ببطء فيما انجذبت قطرات أخرى لأسفل، حيث منحها الاحتكاك الناشئ من الفوهة

الصغيرة للبخاخ شحنات إيجابية وسلبية. وعندما رأى ميليكان كم كانت الخطة تسير على نحو سليم، شعر بسعادة طاغية، وارتقى هو وفلتشر بإعدادات الجهاز، وأمضيا بعد ظهر كل يوم تقريباً في جمع المعلومات لمدة ستة أشهر.

الجهاز الذي حصلت عليه، وهو كم تصميم وتصنيع شركة فيليب هاريس ببرمنجهام، في إنجلترا؛ كان نسخة مبسّطة من تصميم ميليكان، لكن الفكرة واحدة. رُكّب اللوحان النحاسيان داخل منصة من الزجاج الصناعي تستقر على ثلاث أرجل على قاعدة من الخشب الصلد المعتم مقاسه 15×20 بوصة. وفي أحد الطرفين كان هناك مصدر للضوء: وعاء أسطواني معدني مطلي باللون الرمادي الشائع في المعامل ومزوّد بعدسة لتركيز الضوء.



النسخة الأولى لتجربة نقطة الزيت لميليكان، حيث تسقط القطرات الصغيرة عبر ثقب صغير داخل المساحة الواقعة بين اللوحين النحاسيين C وD المتصلين عبر مفتاح للبطارية. وإلى اليسار، هناك مصدر لأشعة إكس يستخدم لدفع الإلكترونات بعيداً عن القطرات وتغيير شحنتها.

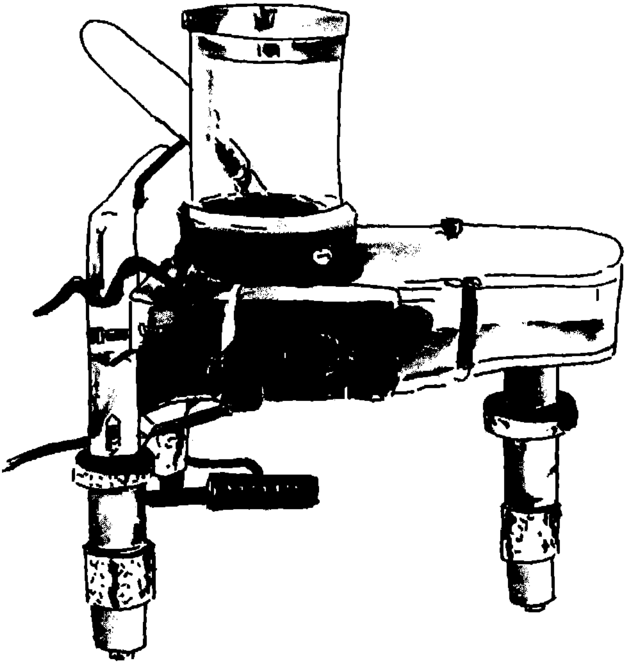


نسخة لاحقة. يستخدم بخّاخ تجاري A هواءً مرشحاً لرش الزيت داخل الحجرة C التي تشق منها قطرة عارضة طريقها عبر ثقب صغير في القرص العلوي M.

كان المصباح بريطاني الحجم مفقوداً، لكنني استطعت أن أستبدل مصباح هالوجين عادي بمحول قطار «ليونيل» قديم.

للتمحيص في القطرات المتراقصة بين اللوحين، كان هناك مجهر تلسكوبي (وهو جهاز هجين بين المجهر والتلسكوب) مجهز بشبكة خطوط صغيرة متقاطعة لأغراض القياس، ومفتاح سكيني لتشغيل التيار الكهربي. عند تحريكُ المفتاح إلى أعلى يرسل «تيار

إلى اللوحين (تحذير مضمونه «لا تتجاوز 2000 فلط»، مكتوب على لوحة الباكليت Bakelite السوداء للتعليمات). وعند تحريكه إلى أسفل، فيعني قصر التيار عنهما معاً وتبديد الشحنة. بعد تفكيك الأجزاء للتخلص من الأتربة والزيت المتراكم جرّاء ألف تجربة أجراها طلاب من قبل، صرت على أهبة الاستعداد لأول تجربة لي.



جهاز ميليكان المصنع بشركة فيليب هاريس
ريشة أليسون كينت (Alison Kent)

قمت بضخ بخاخ عطر بزيت معدني عادي، ورششته داخل الحجرة فوق القرص النحاسي العلوي، وانتظرت سقوط القليل من القطرات الصغيرة عبر الثقب الصغير. بدت أشبه بذرات الغبار في شعاع من ضوء الشمس منها بالنجوم الصغيرة، لكن أثرها كان ساحراً. وكان من المخطط أن أنتقي واحدة من القطرات التي تسقط سقوطاً مستقيماً بطيئاً، وأن أقوم بتشغيل جهد اللوح، فإذا بدأت في الصعود فجأة، فذلك يعني أنها تحمل شحنة ما. وبتحريك مفتاح التوصيل لأعلى وأسفل وضبط الجهد، أستطيع توقيت القطرات أثناء صعودها وهبوطها بين الخطوط الشعرية في عدسة المجهر؛ 4,2 ثانية لأسفل و2,6 ثانية لأعلى... 6,8 ثانية لأسفل و4,0 ثانية لأعلى... 7,1 ثانية لأسفل و2,2 ثانية لأعلى... 8,1 ثانية لأسفل و3,3 ثانية لأعلى.

بدأت أستوعب الأمر. لكنني، لكي أتمكن من إنجاح التجربة، كنت بحاجة إلى الإبقاء على قطرة واحدة فترة كافية لملاحظة التنويعات المفاجئة في زمن الصعود والتي ستشير إلى ما إذا كانت القطرة قد اكتسبت أو فقدت إلكتروناً. وعندما جمعت المعلومات الخاصة ببعض القطرات، وقدرت كتلتها (عن طريق معادلة تعرف باسم «قانون ستوك» Stoke's law)، أمكنني حساب الوحدة الأساسية للشحنة.

تبدو هذه الأشياء سهلة جداً في كتب الفيزياء. فما من أحد

يسمع عن اللوحين النحاسيين وهما يشهدان قصر الدائرة الكهربية عنهما وتتوهج لأن مشبكاً معدنياً انسل إلى موضع خاطئ، أو عن رش كمية مبالغ فيها من الزيت وسدّ الثقب الصغير. كنت أخلط بين القطرة والأخرى أو بقعة في مجال رؤيتي، واستهدفت ما بدا أنه نموذج مثالي، ثم راقبت عاجزاً وهو ينساق بعيداً عن المستوى البؤري. أحياناً تكون القطرة ثقيلة جداً حتى أنها تغوص كالحجر، أو تحمل شحنة قوية جداً لدرجة أنها تندفع بسرعة بمجرد تشغيل الجهد بعيداً عن ناظري. حاولت وفشلت مرات عدة قبل أن أدرك الحقيقة؛ فإتقان هذه التجربة الحسَّاسة جداً أشبه بتعلم العزف على الكمان أو بصناعة أثاث جميل على الأقل.

كانت لمسة ميليكان الخبير بارعة جداً حتى أنه استطاع احتجاز قطرة زيت في عين التسديد في تلسكوبه، وعاد إلى منزله لتناول طعام العشاء، ثم رجع لاحقاً مساء ذاك اليوم ليكتشف أنها لم تكد تتحرك. وبوجود مساعده فلتشر، كان يصيح معلناً عن التغيرات في سرعة الإلكترونات وهي تتقافز على القطرة الصغيرة وخارجها كالركاب الذين يستقلون عربة التلفريك في سان فرانسيسكو. وإذا احتاجت الإلكترونات إلى دفعة طفيفة، كان يفتح باباً صغيراً من الرصاص ويضربها بالراديوم.

هاجم عالم أسترالي بيانات ميليكان الخاصة بقطرات الماء، حيث زعم ذلك العالم أنه عثر على «الجسيمات دون الإلكترونية»

وظن أنه لا توجد وحدة أصغر للشحنة. لكن ما عثر عليه ميليكان بتجربته الأسبق والأكثر بدائية أكدته إلى حد كبير قطرات الزيت، فقد كانت هناك إلكترونات حقاً. وفي ظهر يوم من الأيام، حضر تشارلز بروتياس شتاينمتز (Charles Proteus Steinmetz)، المهندس الكهربائي الرائد لمشاهدة التجارب، وقال وهو يشد على يد فلتشر: «لم أكن لأصدق ذلك قط. لم أكن لأصدق أبداً».

وفي أوائل عام 1910، شرعا في تدوين النتائج، وواصل ميليكان على مدار السنوات الثلاث التالية تطوير التجربة. فقد تحوّلت الأداة البسيطة التي كانت توضع على المنضدة إلى جهاز عالي التقنية يتمتع بهواء منقى، وبدرجة حرارة وضغط وجهد منظمين بإحكام شديد، وبساعة قادرة على تقدير الوقت بالملي ثانية. ولم يقل أهمية عن ذلك التقدم الذي أحرزه في قراءة القطرات ودراستها، فقد سجل التقلبات في مفكرته:

منخفض جداً... هناك خطب ما... غير متأكد من المسافة... ربما قطرة مزدوجة... رائع للنشر... قطرة رائعة على الرغم من صغر حجمها... قطرة سليمة تماماً... هناك خطأ ما... لن تفلح... فلننشر هذه التجربة الجميلة.

وفيما نقح ردود أفعاله، زادت نسبة الجماليات في تجاربه:

تجربة مثالية للنشر... الأفضل على الإطلاق حتى الآن.

بدا الأمر وكأن الإلكترونات نفسها كانت تتلألأ في الضوء.

كتب ميليكان لاحقاً مؤكداً بخط مائل: «*كل من رأى هذه التجربة... رأى في واقع الأمر الإلكترون. وباستطاعته عد الإلكترونات في شحنة كهربية صغيرة بدقة تضاهي عد أصابع يديه وقدميه*».

وفي عام 1913، نشر قيمته الحاسمة للوحدة الأساسية للشحنة الكهربائية: $1,5924 \times 10^{-19}$ كولوم. (القيمة المعترف بها حالياً أعلى بقدر طفيف وحسب $1,60217653 \times 10^{-19}$). وبعد ذلك بعشر سنوات، حاز جائزة نوبل.

وللقصة نهاية غريبة. بعد وفاة هارفي فلتشر، المساعد الأسبق لميليكان عام 1981، ظهرت مذكرات له أعرب فيها عن امتنانه لميليكان لمساعدته في مشواره المهني وإحباطه لأنه لم يحصل على التقدير المستحق لجهوده التي بذلها في تجربة قطرة الزيت. وبحسب رواية فلتشر، زاره أستاذه على غير اتفاق ذات يوم في شقته وعرض عليه صفقة؛ أن يكون ميليكان المؤلف الوحيد للبحث المتعلق بشحنة الإلكترون على أن يحصل فلتشر على تقدير كامل لتعاونه الأقل أهمية.

أضفى إصرار فلتشر على نشر مذكراته بعد وفاته مصداقية عليها، لكنه حرم ميليكان (الذي توفي في عام 1953) من فرصة الرد عليها. وبالحكم على السيرة الذاتية لميليكان، يتضح لنا أنه ليس بالشخص الذي يود المرء أن يحتجز معه في جزيرة نائية أو أن يرافقه ولو على

متن طائرة. فقد كان يتعالى على الآخرين، بل يتعصب لآرائه بعض الشيء. وعلى الرغم من أنه القوة الدافعة وراء فكرة عزل الإلكترون وقياسه، فربما كان في وسعه أن يكون أكثر سخاءً تجاه طالبه. ولذلك، فإن صفة الجمال هنا تختص بالتجربة لا بصاحبها.

والأدهى من ذلك أن ثمة اتهامات ظهرت في فترة لاحقة مفادها أن ميليكان كان يتلاعب في سجلاته. فالحواشي التفسيرية في سجلات معمله والمستخلصة من أرشيفاته كانت دليلاً على أنه ظل يبحث في بياناته عن نتائج تدعم أفكاره المتصوّرة مسبقاً.

وهذا ليس بالاتهام الذي ينطبق على شخص عانى الأمرين مع تجربة قطرة الزيت. إنني أعتقد أن ميليكان طور إحساسه بالآلية الصحيحة، واستخدم حاسته السادسة للتنبؤ بالمشكلات؛ من ضغطة غير مقصودة على ساعة التوقيت، أو تذبذب مفاجئ في درجة الحرارة أو جهد اللوحين، أو ذرة غبار متنكرة في شكل قطرة زيت. فقد كان يعلم متى يخونه الحظ.

الأكثر إثارة للاهتمام من الادعاءات الواهية قضية الحيلولة دون الخلط بين غرائزك وفرضياتك فتنحي الجهاز جانباً دون وعي منك كلوح الويجا[1] كي تستنبط الإجابة المرجوة. إنه أمر على كل مجرّب أن يكافحه. لكن يظل العقل البشري الأداة المعملية الأكثر تقلباً على الإطلاق.

(1) Ouija، لعبة على لوح عليه علامات وإشارات يعتقد أنه يمكن أن يرسل رسائل إلى الموتى- المترجم.

خاتمة

التجربة الحادية عشرة الأجمل

في خريف سنة 2006، حينما كنت كاتباً في المجال العلمي ومقيماً بمعهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربرا بكاليفورنيا، ألقيت خطاباً عن «أجمل عشر تجارب على الإطلاق». وفي أعقابها جاءتني امرأة وسألتني لماذا لم يتناول الكتاب إلا الرجال.

فكرت في إدراج ماري كوري (Marie Curie) لاكتشافها الراديوم، حيث عكفت على ترشيح كمية صغيرة جداً من المادة المشعة من بين أطنان من المعدن الخام، لكن هذا الكشف بدا لي وكأنه كشف بطولي أكثر من كونه تمحيصاً مضبوطاً في عالم الطبيعة. وبدت لي ليز مايتنر (Lise Meitner) مرشحة أرجح من كوري، بيد أن تجاربها الرائدة في الانشطار النووي في الثلاثينيات أجريت بالتعاون مع أوتو هان (Otto Hahn) وفريتز شتراسمان (Fritz Strassman). فقد أصبح العلم بالفعل ذلك المجهود التعاوني

نفسه الذي نشهده الآن، فقد ضمّت الورقة التي أعلنت اكتشاف الكوارك القمي (top quark) أسماء 439 عالماً.

وإذا كان لي أن أتجاوز حدودي الاعتباطية، فربما كانت التجربة الحادية عشرة الأجمل عن اكتشاف ريتا ليفي مونتالسيني (Rita Levi–Montalcini) عامل النمو العصبي، أو أبحاث باربرا ماكلينتوك (Barbra McClintock) عن التنظيم الجيني والجينات القافزة أو تجربة تشين شيونغ وو (Chien–Shiung Wu) التي أثبت فيها أن الإلكترونات المضمحلة تخالف قانوناً يعرف باسم قانون المحافظة على التعادل (conservation of parity).

ما كدت أنتهي من الكتاب حتى بدأت أعيد التفكير فيه. لَمَ لم يقع اختياري على رذرفورد والنواة الذرية، أو جيمس تشادويك (James Chadwick) والنيوترون أو هايك كامرلِنغ أونس (Heike Kamerlingh Onnes) والموصلية الفائقة؟ وفي مجال البيولوجيا، هناك جريجور مندل (Gregor Mendel) بتجاربه في علم الوراثة التي أجراها في حديقته، وأزوالد أيفري (Oswald Avery) الذي أثبت أن الجينات مصنوعة من الحامض النووي الريبي منزوع الأكسجين (DNA)، وهي الفكرة التي أثبتها ببراعة كل من ألفريد هيرشي (Alfred Hershey) ومارثا تشيس (Martha Chase) من خلال تجربتهما الشهيرة المعروفة باسم خلاط وارنج. وفي تجربة صنفها بعض الأشخاص بأنها التجربة الأجمل في البيولوجيا، أثبت

ماثيو مِزِلسون (Matthew Meselson) وفرانكلين شتال (Franklin Stahl) أن الحامض النووي الريبي منزوع الأكسجين ينسخ نفسه كما تنبأ واطسون (Watson) وكريك (Crick) بلولبهما المزدوج.

وفيما كان القرن العشرين يسدل أستاره، ضاقت دائرة الاختيار حيث يتشبّثِ علم الطبيعة بقوة بالأسرار المتبقية. ولعل الأيام التي يمكن فيها عرض سقالة مجهولة على طاولة التجارب قد ولت. لكنك لا تستطيع أن تجزم بشيء، فلعل التجربة الحادية عشرة الأجمل لم تُجرَ بعد.

الحواشي وثبت المراجع

قصدت بهذه الحواشي تحقيق غرض إضافي؛ وهو أن تكون بمثابة قائمة بالمصادر المقترحة للقراءة، حيث جمعت الكتب فصلاً بعد فصل. ونظراً للطبيعة المتغيرة لمواقع الويب، ومظهر السطور غير المنسق عند طباعة عناوين الويب على الورق، آثرت وضع الروابط بالموارد على الإنترنت على موقعي الإلكتروني، talaya.net، حيث يمكن أن يجد فيه القُرَّاء أيضاً مواد تكميلية أخرى.

- «شيء شبيه بنعيمي»: Paul Arthur Schilpp. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (La Salle. Ill.: Open Court. 1979. .originally published 1949). pp. 3.9

المقدمة

- «هيئة هذه القطرة»: Robert Millikan. *Physical Review* 32 (1911): 349. excerpted in Morris H. Shamos. *Great Experiments in Physics.* (New York: Dover. 1987). p. 243
- ظهر مسح مجلة «فيزكس وورلد» *Physics World* في سبتمبر 2002 Robert P. Crease. "*The Most Beautiful Experiment*." pp. 19-) 20) وشكلت أساس كتاب كريس *The Prism and the Pendulum: The Ten Most Beautiful Experiments in Science* (New York: .Random House. 2003)
- «المسائل ذات الصلة بالأسبقية الشخصية»: "Questions of personal

priority": Quoted in the first volume of Silvanus Phillips Thompson. *The Life of Lord Kelvin*. 2nd ed. (New York: Chelsea. 1976). p. 292.

1- جاليليو: كيف تتحرك الأشياء في الواقع

Drake. Stillman. *Galileo Studies: Personality. Tradition. and Revolution*. Ann Arbor: University of Michigan Press. 1970.

———. *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Chicago: University of Chicago Press. 1978.

Galilei. Galileo. *Dialogues Concerning Two New Sciences*. Translated by Henry Crew and Alfonso de Salvio. Great Minds Series. Buffalo. N.Y.: Prometheus. 1991; originally published 1914.

———. *Two New Sciences. Including Centers of Gravity & Force of Percussion*. Translated by Stillman Drake. 2nd ed. New York: Modern Library. 2001; originally published 1974.

Koestler. Arthur. *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*. New York; Macmillan. 1959.

Rowland. Wade. *Galileo's Mistake: A New Look at the Epic Confrontation Between Galileo and the Church*. 1st U.S. ed. New York: Arcade. 2003.

Shea. William R.. and Mariano Artigas. *Galileo in Rome: The Rise and Fall of a Troublesome Genius*. New York: Oxford University Press. 2003.

Sobel. Dava. *Galileo's Daughter: A Historical Memoir of Science. Faith. and Love*. New York: Walker. 1999.

3. العبارة المقتبسة: Galileo Galilei. Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze. published in *Le Opera di Galileo Galilei*. edizione nazionale (Firenze: Tip. di G. Barbèra. 1890). p. 204. Translated into English by Henry Crew and Alfonso de Salvio as *Dialogues Concerning Two New Sciences* and by Stillman Drake as *Two New Sciences*.
الاقتباسات من ترجمة كرو، وترقيم الصفحات من *Le Opere*. الذي يستخدمه دريك أيضاً.

4. كشف زيف جاليليو: يتسم أرثر كويستلر Arthur Koestler بالقسوة في *The Sleepwalkers*. pp. 425-509.

6. «الآن لا يمكنكم إخفاء»: *Opere*. p. 109.

6. «قطعة من قالب خشبي أو قدّة خشبية»، المصدر نفسه، ص 213.

8. «أكثر إبداعاً من أن تُصدَّق»: انظر Paul D. Sherman. "Galileo and the Inclined Plane Controversy." *Physics Teacher 12* (1974): 343-48.

9. «كرة برونزية تتدحرج»: Alexandre Koyré. "An Experiment in Measurement." *Proceedings of the American Philosophical Society 97*. no. 2 (1953): 222-37.

9 تعليق ستيلمان دريك على تجربة المستوى المائل: "The Role of Music in Galileo's Experiments." *Scientific American 232*. no. 6 (June 1975): 98-104.

12 كان يمكن أن يبدأ جاليليو بمتوالية الأعداد الفردية، للاطلاع على المزيد عن تحليل دريك انظر، "Galileo's Discovery of the Law of Free Fall." *Scientific American 228*. no. 5 (May 1973)) 84-92; the introduction to his translation of *Two New Sciences*; and his essay "Discovery of the Law of Fall." which is appended to the

Galileo .وهناك المزيد عن هذا الموضوع في كتابيه second edition.
Studies. pp. 214-39. and *Galileo at Work*. pp. 76-90.

13 عن قيام توماس ستل بإعادة التجربة: "An Experiment in the History of Science." *Science* 133 (1961): 19-23.

13 «قائد الأوركسترا»: "Role of Music." p. 98.

15 «فحتى في زمنه»: المصدر نفسه، ص 100.

2– وليم هارفي: أسرار القلب

Aubrey. John. and Oliver Lawson Dick. *Aubrey's Brief Lives*. Ann Arbor: University of Michigan Press. 1957.

Harvey. William. *On the Motion of the Heart and Blood in Animals*. Translated by Robert Willis. Great Minds Series. Buffalo. N.Y.: Prometheus. 1993; originally published 1910.

———. *The Works of William Harvey*. Translated by Robert Willis. Classics in Medicine and Biology Series. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. 1989; originally published 1965.

Keynes. G. L.. *The Life of William Harvey*. New York: Oxford University Press. 1966.

Pagel. Walter. *William Harvey's Biological Ideas: Selected Aspects and Historical Background*. Basel. Switzerland: S. Karger. 1967.

———. *New Light on William Harvey*. Basel. Switzerland: S. Karger. 1983.

Park. Roswell. *An Epitome of the History of Medicine*. Philadelphia: F. A. Davis. 1897.

17 العبارة المقتبسة: Harvey. *On the Motion of the Heart and Blood in Animals* (استخدمت فصل هارفي وأرقام فقراته).

18 «بين الظاهر والخفي»: *Motion of the Heart*. IV.17.

18 «كما لو كانوا يرونه من خلال نافذة»: المصدر نفسه. IV. 16.

19 أفضل مصدر عن التفاصيل عن سيرة حياة هارفي موجود في Keynes. *The Life of William Harvey*.

20 "دأب على القول": *Aubrey's Brief Lives*. pp. 130-31.

21 "ولأنني لم أستطع أن أميِّز بشكل صحيح": *Motion of the Heart*. I.1.

23 «بغزارة وسرعة»: المصدر نفسه. IX. 8.

24 «هاتان الحركتان»: المصدر نفسه. V. 6-3.

25 «الشمس في كونٍ مصغّر»: المصدر نفسه. VIII. 3.

26 «مثلما يجعل الربّ الدم متورداً بسبب الهواء»: Stephen Finney Mason. *A History of the Sciences*. new rev. ed. (New York: Collier. 1962). p. 219.

27 «فقرّر هارفي إجراء بعض الحسابات»: *Motion of the Heart*. IX.2-5.

27 «إذا مُدد ثعبان حيٌّ مفتوحاً»: المصدر نفسه. X. 6-7.

28 «الذّامّين بالقول والمتقصين بالإشارة والكتّاب»: "A Second Disquisition to John Riolan." *The Works of William Harvey*. p. 109.

30 «لكنه كثيراً ما كان يقول»: *Aubrey's Brief Lives*. p. 128.

3- إسحاق نيوتن: كُنْه اللون

Fauvel. John. ed. *Let Newton Be!* Reprint. New York: Oxford University Press. 1990.

Feingold. Mordechai. *The Newtonian Moment: Isaac Newton*

and the Making of Modern Culture. New York: Oxford University Press. 2004.

Gleick. James. *Isaac Newton*. New York: Pantheon. 2003.

Hall. A. Rupert. *All Was Light: An Introduction to Newton's Opticks*. Reprint. New York: Oxford University Press. 1995.

Hooke. Robert. Micrographia; *or. Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses. with Observations and Inquiries Thereupon*. Dover Phoenix Editions. Mineola. N.Y.; Dover. 2003.

Sabra. A. I. *Theories of Light: From Descartes to Newton*. New York: Cambridge University Press. 1981.

Westfall. Richard S. *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. New York: Cambridge University Press. 1980.

31 العبارة المقتبسة: من مقدمة *Micrographia* (غير مرقمة).

34 للتعرف إلى التاريخ المبكر للبصريات، انظر Sabra. *Theories of Light ht*.

35 يصف ديكارت تجربته مع المجال المملوء بالماء في رسالته «Les Méteores.» المستخلصة من William Francis Magie. *A Source Book in Physics* (New York. London: McGraw-Hill. 1935). pp. 273-78.

36 «الأزرق انطباع على الشبكية»: Hall. *All Was Light*. p. 18.

36 يوجد وصف للتجارب البصرية الأولى التي أجراها نيوتن في ورقته العلمية *Of Colours* (Cambridge University Library Add. Ms. 3975. pp. 1-22). وموجزة ومفسرة في *Isaac Newton*. pp. 79-89 و *Never at Rest*. pp. 93-96، و *All Was light*. pp 33-38. وجميع

المخطوطات العلمية لنيوتن، كما أن كل كتاباته حول الخيمياء والدين متاحة على شبكة الإنترنت من خلال مشروع نيوتن.

36 «بين عينك وشمعة»: *Of Colours*. 1. (استخدمت أرقام الفقرة الواردة في المخطوطة).

37 معزول عن البلاء: التاريخ الدقيق لتجارب نيوتن البصرية ملتبس بعض الشيء، وثمة ما يدعو للتساؤل عن كم العمل الذي أنجز بالفعل في وولزثروب وكم العمل الذي أنجز في كمبردج. انظر *Never at Rest*. pp. 156-58

37 «عدداً كبيراً من الأسطح العاكسة»: *Of Colours*. 56.

37 «وهكذا، عندما تقرّب العدستان»: المصدر نفسه. 36.

38 «بين عيني والعظْمة»: المصدر نفسه، 58-60.

38 «من المنتصف أخضر»: المصدر نفسه، 62-63.

38 «وهناك عدد وافر من هذه الأنابيب الدقيقة»: المصدر نفسه، 64.

40 «أحمر داكن»: المصدر نفسه، 6.

40 يرد وصف التجربة التي استخدم فيها مزلاج النافذة والمنشور في «Fair Copy of 'A Theory Concerning Light and Colors'» (Cambridge University Library Add. Ms. 3970.3ff.) pp. 460-66. ونشرت لاحقاً تحت عنوان «New Theory About Light and Colors.» *Philosophical Transactions of the Royal Society* 80 (19 February 1671-1672). والنسختان متاحتان على شبكة الإنترنت على مشروع نيوتن. وللحصول على نصوص وتحليلات التجربة، انظر *Never at Rest*. pp. 156-75. and *Theories of Light*. pp. 234-44

40 «كانت تسلية ممتعة»: جميع الاقتباسات الواردة هنا مستخلصة من «Theory Concerning Light and Colors».

41 عدد كبير من التجارب: يوضح وستفول التفاصيل في Westfall. *Never at Rest*. pp. 94-96. ويقول إن نيوتن كان لديه حدس حول التغاير الخاص باللون الأبيض منذ عام ١٦٦٤ في كمبردج.

42 «تتعرض الأشعة الزرقاء»: .*Of Colours*. 6.

42 «يتألف من أشعة قابلة للانكسار بدرجة متفاوتة»: «Theory Concerning Light and Colors».

42 «بدرجة الانكسار ذاتها»: المصدر نفسه.

44 «سحابة ساطعة»: «A Letter of the Learn'd Franc. Linus ... animadverting upon Mr Newtons Theory of Light and Colors» and «An Answer to this Letter» *Philosophical Transactions of the Royal Society* 110 (25 January 1674-1675). المصدران متاحان على شبكة الإنترنت عبر مشروع نيوتن.

4- أنطوان-لوران لافوازييه: ابنة الملتزم

Bell. Madison Smartt. *Lavoisier in the Year One: The Birth of a New Science in an Age of Revolution*. New York: Norton. 2005.

Djerassi. Carl. and Roald Hoffmann. *Oxygen: A Play in Two Acts*. New York: Wiley-VCH. 2001.

Donovan. Arthur. *Antoine Lavoisier: Science. Administration and Devolution*. New ed. New York: Cambridge University Press. 1996.

Guerlac. Henry. *Antoine-Laurent Lavoisier. Chemist and Revolutionary*. New York: Scribner. 1975.

———. Lavoisier—*The Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772*. Ithaca. N.Y.: Cornell University Press. 1961.

Holmes. Frederic Lawrence. *Antoine Lavoisier: The Next Crucial Year*; or. *The Sources of His Quantitative Method in Chemistry*. Princeton. N.J.: Princeton University Press. 1998.

Lavoisier. Antoine-Laurent. *Elements of Chemistry*. New York: Dover. 1965.

Poirier. Jean-Pierre. *Lavoisier: Chemist. Biologist. Economist*. Reprint. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. 1998.

45 العبارة المقتبسة: Djerassi and Hoffmann. Oxygen. p. 119.

46 مسرّع جسيمات ذلك العصر: Donovan. Antoine Lavoisier. p. 47.

46 يرد وصف تجربة حرق الألماس في Poirier. *Lavoisier*. pp. 58-60.

47 «الهواء الذي تحتويه المادة»: Poirier. *Lavoisier*. p. 58.

47 «الكافور المذاب في حمض النتريك المقطر جيداً»: Portsmouth Collection (Add. Ms. 3975). Cambridge University Library. Cambridge University. pp. 32-44.

48 «تتوارى في زحل روحٌ سرمدية»: المخطوطة في جامعة ييل (Beinecke Library. Mellon Ms. 79). وهي متاحة أيضاً على شبكة الإنترنت بمشروع نيوتن. نسخت الفقرة من كتاب جورج ستاركي George Starkey. *The Marrow of Alchemy* (1654). للتعرف إلى معنى الاصطلاحات الخيميائية، اعتمدت على تحليل وليام نيومان، وهو مؤرخ للعلوم بجامعة إنديانا، على موقع الويب PBS بحثاً عن العرض الجديد «Newton's Dark Secrets.».

48 للتعرف إلى تاريخ فرضية نظرية اللاهوب، انظر Stephen Finney Mason. *A History of the Sciences*. new rev. ed. (New York: Collier. 1962). pp. 303-13.

49 «يُدفع بفعل قوى»: Poirier. *Lavoisier*. p. 63.

49 «يعطي أجنحة للجزيئات الأرضية»: المصدر نفسه، ص 62.

50 تجربة لافوازييه في سنة 1769: المصدر نفسه، ص 32-34 .

52 زواج لافوازييه، المصدر نفسه، ص 39-41.

52 التفاصيل الخاصة بزوجة لافوازييه ودورها في تجاربه واردة في

Roald Hoffmann. «Mme. Lavoisier.» *American Scientist* 90. no. 1 (January-February 2002): 22. يجري حالياً جمع مادة لمتحف افتراضي لأعمال لافوازييه، بما في ذلك تاريخ تفصيلي لتجاربه وصور لبعض معداته، على شبكة الإنترنت في Panopticon Lavoisier. علاوة على ذلك، فجميع أعمال لافوازييه الكاملة باللغة الفرنسية متاحة على شبكة الإنترنت في Les Œuvres de Lavoisier.

52 «أنواع مختلفة من الهواء»: كتب بريستلي عملاً من ثلاثة مجلدات تحت عنوان *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* (London: printed for J. Johnson. 1774) وللتعرف إلى موجز لتاريخ هذا العمل، انظر Mason. *History of the Sciences*. pp. 304-6.

53 تجارب لافوازييه على الفسفور والكبريت والصفيح وأكسيد الرصاص: Poirier. *Lavoisier*. pp. 65-66، وGuerlac. *Lavoisier*. pp. 79-80. تجربة القصدير واردة في *History of the Sciences*. p. 308. الأداة التي استخدمت في تجربة أكسيد الرصاص، وتعرف باسم طست تجميع الغاز، كانت شكلاً مغايراً للأداة التي ابتكرها ستيفن هالز.

53 حسب أنه يعرف الإجابة: في التجارب التي أجراها على الفسفور والكبريت، رأى أيضاً أمارات على امتصاص الهواء، وصرح كيميائي باريسي بالتوصل إلى نتيجة شبيهة. انظر Guerlac. *Lavoisier*. p. 79.

54 تقديرات سعر أكسيد الزئبق مستقاة من Poirier. *Lavoisier*. p. 74.

54 «دون إضافة»: المصدر نفسه.

54 «ما أدهشني أكثر»: المصدر نفسه.

54 «خُيِّل إليّ أن صدري»: Poirier. *Lavoisier*. p. 76.

55 يرد وصف التجارب الأولى للافوازييه على الزئبق في Poirier. *Lavoisier*. pp. 79-80.

55 «الصالح للتنفس بامتياز»: المصدر نفسه، ص 103. استخدم لافوازييه

هذه الكلمات في خطابه للأكاديمية الفرنسية في أبريل 1775 الذي نشر تحت عنوان «On the Nature of the Principle Which Combines with Metals During Calcinations and Increases Their Weight.» وبعد ذلك بثلاث سنوات، نقح الورقة البحثية بتفسيره الجديد. وقارن جيمس بريانت كونانت النسختين في «The Overthrow of the Phlogiston Theory.» in *Harvard Case histories in Experimental Science*. vol. 1 (Cambridge. Mass.: Harvard University Press. 1957).

55 أفاد لافوازييه عن نتائج تجربته على المَطَرَة لأكاديمية العلوم في 3 مايو، 1777، تحت عنوان Experiments on the Respiration of Animals and on the Changes Which Happen to Air in Its Passage Through Their Lungs.» ولاحقاً في الفصل الثالث من مؤلفه *Elements of Chemistry*. pp. 32-37.

57 «عندما وضعت فيه شمعة»: *Elements of Chemistry*. p. 35.

57 «بتوهج شديد»: المصدر نفسه، ص 36.

57 «إليكم أتمّ نوع من البراهين»: Poirier. *Lavoisier*. p. 104.

58 إعدام لافوازييه: المصدر نفسه، ص 82-381.

59 قصة يتردد صداها في شبكة الإنترنت: ومن الواضح أنها ولدت إثر تعليق على أحد برامج قناة دِسكفري، وفي بعض النسخ كان المساعد الذي يعكف على عد رمشات العين هو لاغرانج. للاطلاع على تفنيد للأسطورة، انظر William B. Jensen. «Did Lavoisier Blink?» *Journal of Chemical Education* 81 (2004): 629.

5- لويجي جالفاني: الكهرباء الحيوانية

Fara. Patricia. *An Entertainment for Angels: Electricity in the*

Enlightenment. New York: Columbia University Press. 2003.

Galvani. Luigi. *Galvani Commentary of the Effect of Electricity and Muscular Motion*. Translated by Robert Montraville Green. Cambridge. Mass.: E. Licht. 1953.

Heilbron. J. L. *Electricity in the 17th and 18th centuries: A Study of Early Modern Physics*. Berkeley: University of California Press. 1979.

Ostwald. Wilhelm. *Electrochemistry: History and Theory*. New Delhi: Amerind. Published for the Smithsonian Institution and the National Science Foundation. Washington. D.C.. 1980.

Pancaldi. Giuliano. *Volta: Science end Culture in the Age of Enlightenment*. Princeton. N.J.: Princeton University Press. 2005.

Pera. Marcello. *The Ambiguous Frog: The Galvani-Volta Controversy on Animal Electricity*. Princeton. N.J.: Princeton University Press. 1992.

60 العبارة المقتبسة: Galvani. *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*. p. 40. (ما لم يتم التنويه بخلاف الآتي، جميع الاقتباسات مستقاة من الترجمة الإنجليزية Robert Montraville Green. *Galvani Commentary on the Effect of Electricity and Muscular Motion*).

61 يرد وصف تجربة سيمرز في Heilbron. Electricity in the 17th and 18th Centuries. pp. 431-37. وكذا في Pera. *The Ambiguous Frog*. pp. 38-39.

61 «عندما تُجرى هذه التجربة»: *The Ambiguous Frog*. p. 39. نقلاً عن Robert Symmer. «New Experiments and Observations

Concerning Electricity.» *Philosophical Transactions* 61 (1759): .340-89

61 يرد وصف ذيوع الكهرباء في القرن الثامن عشر الميلادي في *Electricity in the 17th and 18th Centuries*. pp. 263-70; *The Ambiguous Frog*. pp. 3-18؛ وفي Fara. *An Entertainment for Angels*.

63 «يقال إنه ينبعث من بعض الحيوانات»: *The Ambiguous Frog*. pp. 60-61؛ مقتبس من كتاب بريستلي *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*. pp. 277-79.

64 يرد وصف تجربة جالفاني بالقرب من قصر زامبوني في *The Ambiguous Frog*. p. 80.

67 التجارب التي أجريت على القضيب الحديدي والصندوق الفضي: *Commentary*. pp. 40-41، و*The Ambiguous Frog*. pp. 81-83 .

67 «انسلت إلى الحيوان وتراكمت»: *Commentary*. p. 40 :

67 «في اللحظة ذاتها التي لمست فيها القدم»: *The Ambiguous Frog*. p. 82. يصف جالفاني المشهد في *Commentary*. pp. 43-44.

68 تأملات جالفاني المتشعبة واردة في *Commentary*. pp. 78-81.

68 «لكن دعونا نضع حدّاً لهذه التخمينات!»: المصدر نفسه، ص 81.

68 «بين الحقائق المثبتة»: *The Ambiguous Frog*. p. 98 .

68 «الانقباضات والتقلّصات والرعشات نفسها»: المصدر نفسه، ص 100.

69 تجربة فولتا باستخدام القصدير والنحاس: المصدر نفسه، ص 105.

69 «نظرية جالفاني وتفسيراته»: المصدر نفسه، ص 114.

69 «فإذا كان هذا هو واقع الأشياء»: المصدر نفسه، ص 113.

70 تجارب الجلفانيون التي تحدوا بها فرضية ثنائية المعدن لفولتا: المصدر نفسه، ص 22-119.

70 «فلماذا إذن ننسب»: المصدر نفسه، ص 122.

71 «كلما ألمس الضفدع»: المصدر نفسه، ص 123.

71 تجربة جالفاني التي أجراها دون موصلات خارجية (عادة ما يُشار إليها باعتبارها «تجربته الثالثة»): المصدر نفسه، ص 129.

71 «لكن، إذا ما كانت هذه هي الحال»: *The Ambiguous Frog*. p. 13.

72 يوجد وصف لبطارية فولتا في المصدر نفسه، ص 153-58.

73 تجربة جالفاني الأخيرة («الرابعة»): المصدر نفسه، ص 147-48.

74 «ما الاختلاف»: المصدر نفسه، ص 148.

6- مايكل فاراداي: شيء دفين في العمق

Cantor. Geoffrey. *Michael Faraday. Sandemanian and Scientist.* New ed. London: Palgrave Macmillan. 1993.

Dibner. Bern. *Oersted and the Discovery of Electromagnetism.* Norwalk. Conn.: Bumdy Library. 1961.

Faraday. Michael. *The Chemical History of a Candle*. New York: Dover. 2003; originally published 1861.

———. *Experimental Researches in Electricity*. New York: Dover. 1965; originally published 1839-1855.

———. *The Forces of Matter*. Great Minds Series. Buffalo. N.Y.: Prometheus. 1993.

Faraday. Michael. and Howard J. Fisher. *Faraday's Experimental Researches in Electricity: Guide to a First Reading*. Santa Fe. N.M.: Green Lion. 2001.

Faraday. Michael. and Thomas Martin. *Faraday's Diary*. London: Bell. 1932.

Hamilton. James. *A Life of Discovery: Michael Faraday. Giant of the Scientific Revolution*. New York: Random House. 2004.

Jones. Bence. *The Life and Letters of Faraday*. London: Longmans.

Green. 1870.

Lehrs. Ernst. *Spiritual Science: Electricity and Michael Faraday*. London: Rudolph Steiner Press. 1975.

Russell. Colin Archibald. *Michael Faraday: Physics and Faith*. New York: Oxford University Press. 2000.

Williams. L. Pearce. *Michael Faraday: A Biography*. New York: Da Capo. 1987.

Woolley. Benjamin. *The Bride of Science: Romance. Reason. and Byron's Daughter*. New York: McGraw-Hill. 2000.

75 الاقتباس الأول: Jones. *The Life and Letters of Faraday*. vol. 2. pp. 473-74. يؤرخ جونز الخطاب بتاريخ 22 أبريل 1867.

75 الاقتباس الثاني: Faraday. *Experimental Researches in Electricity*. Third Series. para. 280.

76 «ساحرة الأرقام»: Woolley. *The Bride of Science*. p. 744.

76 «عروس العلم»: المصدر نفسه، ص 306.

76 «حساب تفاضل وتكامل الجهاز العصبي»: المصدر نفسه، ص 305.

76 «سيدته الجميلة»: Hamilton. *A Life of Discovery*. p. 318.

78 وصف أورستيد كشفه في «Experiments on the Effect of a Current of Electricity on the Magnetic Needle.» *Annals of Philosophy* 16 (1820): 276.

79 جاء وصف تجارب فاراداي باستخدام محرك كهربي خالص في *Faraday's Diary*. pp. 50-51. وثمة تلخيص لها في Williams. *Michael Faraday*. p. 156. and *A Life of Discovery*. pp. 164-65.

79 عني بها العصر الصناعي: *A Life of Discovery*. pp. p.151-56.

79 «أمضاها في وظيفة عادية»: Williams. *Michael Faraday*. p. 109.

79 «التموجات»: المصدر نفسه، ص 177-78.

80 «الزئبق الموضوع على صفيحة من القصدير»: .A Life of Discovery pp. 236-37. نقلاً عن يوميات فاراداي.

80 يرد وصف تجربة حلقة الحث في .Williams. *Michael Faraday*. pp 182-83; وفي .Faraday's Diary. August 29. 1831. p. 367، وكذلك في .Experimental Researches in Electricity. First Series. para 27-28.

81 «موجة كهرباء»: .Williams. *Michael Faraday*. p. 183 .

82 كما اقترح عالم ألماني: كان هذا العالم يوهان ريتر (Johann Ritter). المصدر نفسه، ص 30-228.

82 انهيار فاراداي: .*A Life of Discovery*. pp. 293-94

82 «إنكِ تدفعينني إلى حد اليأس»: المصدر نفسه، ص 319.

82 ربما هو هدف صعب المنال: إلهام آخر للشروع في تجربة الاستقطاب ربما جاء في شكل خطاب من وليام طومسون، لورد كلفن لاحقاً: .Williams. *Michael Faraday*. pp. 383-84

83 سؤال ظل يقض مضجعه: يصف فاراداي محاولة سابقة باستخدام حوض من المحاليل الكهربية في مدخل من مدخلات مذكراته بتاريخ 10 سبتمبر 1822، ص. 71.

83 «لتنظيم إرشاد السفن»: من التاريخ الرسمي المنشور على الموقع الإلكتروني Trinity House.

83 عمل فاراداي في المنارات: .*A Life of Discovery*. pp. 322-23 .

83 يصف فاراداي تجاربه على الحزم الضوئية في المجلد الرابع من مذكراته، الفقرات من 256 إلى 267. وفي السلسلة التاسعة عشرة من .*Experimental Researches*. 2146-72 وثمة وصف أيضاً في .Williams. *Michael Faraday*. pp. 384-87

85 «لا أكاد أمتلك في الوقت الحالي لحظة فراغ واحدة»: *A Life of Discovery*. p. 327.

86 «لكن عندما وضعت قطبين مغناطيسيين مختلفين»: .Williams

.Michael Faraday. p. 386 تتضمن النسخة الصادرة في سنة 1932 من المذكرات، والتي حررها طوماس مارتن، نسخة طبق الأصل من صفحة مكتوبة بخط اليد عليها تشديد بثلاثة خطوط.

86 «كل هذا حلم»:A Life of Discovery. p. 334.

86 «ترين ما تفعلين»: المصدر نفسه، ص 320.

7- جيمس جول: كيف يعمل العالم

Baeyer. Hans Christian von. *Maxwell's Demon: Why Warmth Disperses and Time Passes*. New York: Random House. 1999.

Caneva. Kenneth L. *Robert Mayer and the Conservation of Energy*. Princeton. N.J.: Princeton University Press. 1993.

Cardwell. Donald S. L. *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. London: Heinemann. 1971.

———. James Joule: *A Biography*. Manchester. England: Manchester University Press. 1991.

———. Wheels. Clocks. and dockets: *A History of Technology*. New York: Norton. 2001.

Carnot. Sadi. *Reflections on the Motive Power of Fire: And Other Papers on the Second Law of Thermodynamics*. New York: Dover. 2005.

Joule. James Prescott. William Scoresby. Lyon Playfair. and William Thomson. *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. London: The Society. 1963; originally published 1887.

Lindley. David. *Degrees Kelvin: A Tale of Genius. Invention. and Tragedy*. Washington. D.C.: Joseph Henry Press. 2005.

Thompson. Silvanus Phillips. *The Life of Lord Kelvin*. 2nd ed. New York: Chelsea. 1977; originally published 1910.

Truesdell. Clifford A. *The Tragicomical History of Thermodynamics. 1822-1854*. New York: Springer. 1980.

88 العبارة المقتبسة: Truesdell. *The Tragicomical History of Thermodynamics*. pp. 164-65.

89 «أشرب حماسة فاراداي»: Thompson. *The Life of Lord Kelvin*. p. 19.

89 يرد وصف اللقاء الذي جرى على الطريق مع كلفن في *Life of Lord Kelvin*. p. 265، وكذلك في Cardwell. *James Joule*. pp. 88-89.

90 لقاء جول وطومسون في أكسفورد: *James Joule*. pp. 82-83. and Lindley. *Degrees Kelvin*. pp. 74-75.

91 «أنا على يقين»: *James Joule*. p. 85.

92 ترد قصة زواج رمفورد من مدام لافوازييه في Poirier. *Lavoisier*. pp. 407-9 (ترد في ملاحظاتي على الفصل الرابع). ويصف بورييه أيضاً، ص 125 و126، علاقة خارج إطار الزواج أقامتها مع الخبير الاقتصادي بيير صاموئيل دون بونت دي نيمورس، والد مؤسس شركة المواد الكيميائية.

92 «ممتلئة الجسم على نحو جميل»: المصدر نفسه، ص 407.

92 «بفعل قوة حصان لا غير»: Benjamin Thompson. «An Inquiry Concerning the Source of the Heat Which Is Excited by Friction.» *Philosophical Transactions of the Royal Society* 88 (1798): 80-102؛ مقتبسة في Magie's *A Source Book in Physics* (واردة في ملاحظاتي على الفصل الثالث)، ص 159-160.

93 «اهتياجاً بالغ الشدة»: Hooke. *Micrographia*. Observ. VI. «Of Small Glass Canes» (وردت في ملاحظاتي على الفصل الثالث)،

ص 12.

96 تجارب الطفولة الصادمة لجول وغيرها من تفاصيل سيرته الذاتية مستقاة من *James Joule*. pp. 13-16

96 «لا أكاد أشك في أن الكهرمغناطيسية»: *The Scientific Papers of James Prescott Joule*. vol. 1. p. 14

97 «لا يوجد فيما يبدو»: المصدر نفسه، ص ٤٧؛ *James Joule*. p. 36 .

97 يرد وصف محركات جول في *Scientific Papers*. vol. 1. pp. 1-3. 16-17. وكذلك في *James Joule*. pp. 32-37

98 «المقارنة ليست في صالحي بالمرّة»: *James Joule*. p. 37. مقتبس من محاضرة عامة ألقيت بمعرض فكتوريا الملكي بتاريخ 16 فبراير عام 1841.

98 أفاد جول عن تجربته التي أجراها على ذارع التدوير في الجزء الأول من Joule. «On the Calorific Effects of Magneto-Electricity. and on the Mechanical Value of Heat.» *Scientific Papers*. vol. 1. pp. 123-59؛ انظر أيضاً *James Joule*. pp. 53-56

100 التجربة التي أجراها على البكرات واردة في الجزء الثاني من «Calorific Effects.» pp. i49-57. وكذلك في *James Joule*. pp. 56-58

100 «الموضوع لم يلق اهتماماً عاماً كبيراً»: *Scientific Papers*. vol. 2. p. 215.

100 نشر جول التجربة التي عرضت في أكسفورد تحت عنوان «On the Mechanical Equivalent of Heat. as Determined by the Heat Evolved by the Friction of Fluids.» *Scientific Papers*. vol. 2. pp. 277-81. للاطلاع على نسخ منقحة لاحقة انظر الورقة البحثية ذات العنوان المماثل «On the Mechanical Equivalent of Heat.» *Scientific Papers*. vol. 1. pp. 298-328.

103 «تضييع بلا رجعة»: *Life of Lord Kelvin*. p. 288. .

103 «خلال فترة زمنية محدودة آتية»: المصدر نفسه، ص 291.

8- إيه. أيا. مايكلسون: مفقود في الفضاء

Livingston. Dorothy Michelson. *Master of Light: A Biography of Albert A. Michelson*. Reprint. Chicago: University of Chicago Press. 1979.

Mach. Ernst. *The Principles of Physical Optics: An Historical and Philosophical Treatment*. Translated by John S. Anderson and A. F. A. Young. London: Methuen. 1926; originally published 1921.

Maxwell. James Clerk. *Matter and Motion*. New York: Dover. 1952; originally published 1876.

Michelson. Albert Abraham. *Experimental Determination of the Velocity of Light*. Minneapolis: Lund. 1964. A reproduction of Michelson's handwritten report on his experiments of 1878. commissioned by Honeywell. Inc.

———. *Light Waves and Their Uses*. Chicago: University of Chicago Press. 1961; originally published 1903.

———. *Studies in Optics*. Phoenix Science Series. Chicago: University of Chicago Press. 1962; originally published 1927.

Swenson. Lloyd S. *Ethereal Aether: A History of the Michelson-Morley-Miller Aether-Drift Experiments. 1880-1930*. Austin: University of Texas Press. 1972.

104 العبارة المقتبسة: Maxwell. *Matter and Motion*. quoted in Swenson. *Ethereal Aether*. p. 30.

105 انهيار مايكلسون: Livingston. *Master of Light*. pp. 111-15.

105 فقد صوابه: في الخطاب الذي أرسله مورلي إلى أبيه بتاريخ 27 سبتمبر 1885، أشار إلى «بعض الأعراض التي تشير إلى تدهور القدرات الذهنية»، نقلاً عن *Master of Light*. p. 112.

105 فيشطح بأفكاره تارة، ويصيبه الاكتئاب تارة أخرى: Michelson. *Light Waves and Their Uses*. p. 2.

106 تجربة جاليليو بشأن سرعة الضوء: *Two New Sciences* (ذكر في الملاحظات على الفصل الأول). *Opere*. p. 88.

106 «إن لم يكن لحظياً»: المصدر نفسه.

106 التاريخ المبكر لقياسات سرعة الضوء: *Master of Light*. pp. 47-49. and Norriss S. Hetherington. «Speed of Light.» in J. L. Heilbron. ed.. *The Oxford Companion to the History of Modem Science* (New York: Oxford University Press. 2003). pp. 467-68.

106 ترجمت الورقة البحثية لرويمر عن سر «برهان يتعلق بحركة الضوء». «A Demonstration Concerning the Motion of Light.» *Philosophical Transactions of the Royal Society* 12 (June 25. 1677): 893-94. ووصف برادلي الانحراف النجمي في «An Account of a New Discovered Motion of the Fixed Stars.» *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 35 (1727-28): 637-61. ويمكن العثور عليهما في كتاب ماجي (*Source Book in Physics*). pp. 335-40 ذكر في ملاحظات الفصل الثالث. وتتباين القيم الفعلية لتقديراتهما وفقاً لما إذا كانت مستندة إلى ما هو معروف آنذاك أم الآن عن المسافات الكوكبية. استخدمتُ الأرقام الواردة في مدخلات *Encyclopaedia Britannica* لرويمر وبرادلي.

107 ظهرت تجربة فيزو في «Sur un experiénce relative à la vitesse de propagation de la lumiére.» *Comptes Rendus* 29 (1849): 90.

وهناك ترجمة إنجليزية لها في Source Book in Physics. pp. 341-42.

108 وصف فوكو تجربته في «Détermination expérimentale de la vitesse de la lumière: parallaxe du Soleil.» *Comptes Rendus* 55 (1862): 501-3. 792-96. وهي مقتبسة في *Source Book in Physics*. pp. 343-44.

109 السيرة الذاتية الأولى لمايكلسون مقتبسة من *Ethereal Aether*. pp. 33-43 و11-44 .*Master of Light*. pp.

110 يصف مايكلسون تجربة سرعة الضوء التي توصل لها في «Experimental Determination of the Velocity of Light.» *Proceedings AAAS*. vol. 27 (1878). pp. 71-77. للاطلاع على موجز للتجربة، انظر *Master of Light*. pp. 51-63. وأعيد طباعة الورقة الأصلية المكتوبة بخط اليد ونشرتها هانيويل على شكل فاكس في سنة 1964.

110 «نحو 200 ضعف الانحراف الذي توصل إليه فوكو»: *Velocity of Light*. p. 5.

111 «يبدو من المقدّر أن يزيِّن اسم جديد لامع المجتمع العلمي»: *Master of Light*. p. 63.

111 «أجسام كروية» و«ككرة تنس تتلقى ضربة بمضرب مائل»: استخدم نيوتن هذه الكلمات في «A Theory Concerning Light and Colors» الواردة في ملاحظات الفصل الثالث.

111 «لفترات انعكاس وانتقال»: يستخدم نيوتن المصطلح في Opticks؛ أو *A Treatise of the Reflections. Refractions. Inflexions and Colours of Light*. 2nd ed.. with additions (London: 1717). 3rd book. part 1. p. 323.

112 يرد وصف الرحلة إلى أوروبا في *Ethereal Aether*. pp. 67-68. وبحسب كتاب *Master of Light*. pp. 74-75. سافر مايكلسون إلى برلين لأول مرة ثم يرجع إلى باريس في سنة 1881.

113 فالإبحار ضد التيار ثم في اتجاهه: *Master of Light*. p. 777 .

113 تجربتا مايكلسون في برلين وبوتسدام: Michelson. «The Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Aether.» *American Journal of Science*. Third Series. 22 (August): 120-29 ثمة وصف لها في *Ethereal Aether*. pp. 68-73، وكذلك في *Master of Light*. pp. 77-84.

113 «تلك الأداة كانت حسّاسة بشكل استثنائي»: Albert A. Michelson and Edward W. Morley. «On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether» *American Journal of Science*. Third Series. vol. 34. no. 203 (November 1887). p. 124. وقعت فعاليات الحدث الذي أشار إليه في بوتسدام.

115 «إنني أحترم قدراته جداً»: ذكر بيل هذه الملاحظة في سنة 1883 في خطاب لزوجته مقتبس في *Master of Light*. pp. 96-97.

116 قياس سرعة الضوء في الفراغ: المصدر نفسه، ص. 96-95.

117 تكرار تجربة فيزو: *Ethereal Aether*. pp. 81-87، و*Master of Light*. pp. 110-1.

117 حريق مدرسة العلوم التطبيقية: *Master of Light*. pp. 121-22.

119 «ما إذا كان الضوء ينتقل بالسرعة نفسها»: كتب مورلي هذه الملاحظة في خطاب بتاريخ 17 أبريل 1887 إلى أبيه؛ مقتبس في *Ethereal Aether*. p. 91.

119 تجربة مايكلسون- مورلي: «The Relative Motion»، موجزة في *Ethereal Aether*. pp. 99-97، وكذا في *Master of Light*. pp. 126-33.

120 ميلر فوق قمة جبل ويلسون: *Ethereal Aether*. pp. 205-6.

120 مايكلسون على جبل ويلسون: المصدر نفسه، ص 26-225.

120 «أحد أبرز التعميمات»: *Light Waves and Their Uses*. p. 162.

120 تطلب الأمر نشر نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين: لكن أينشتاين أنكر أن النتائج التي خلصت إليها تجربة مايكلسون- مورلي كانت بحد ذاتها دافعاً لأعماله.

9- إيفان بافلوف: قياس ما يتعذر قياسه

Babkin. B. P. *Pavlov*. Chicago: University of Chicago oress. 1975.

Frolov. Y. P. *Pavlov and His School: The Theory of Conditioned Reflexes*. New York: Johnson Reprint. 1970.

Gray. Jeffrey A. *Ivan Pavlov*. New York: Viking. 1980.

James. William. *The Principles of Psychology*. New York: Dover. 1950; originally published 1890.

Pavlov. Ivan Petrovich. *Conditioned Reflexes: An Investigation of the Physiological Activity of the Cerebral Cortex*. Translated by G. V. Anrep. New York: Dover. 1960; originally published 1927.

———. *Lectures on Conditioned Reflexes*. Vol. 1. Translated by W. Horsley Gantt. New York: International. 1928; originally published 1923.

Sechenov. Ivan. *Reflexes of the Brain*. Cambridge. Mass.: MIT Press. 1965.

Todes. Daniel Philip. *Ivan Pavlov: Exploring the Animal Machine*. New York: Oxford University Press. 2000.

———. *Pavlov's Physiology Factory: Experiment. Interpretation. Laboratory Enterprise*. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 2002.

121 العبارة المقتبسة: Todes. Pavlov's Physiology Factory. p. 123. نقلاً عن مقال بافلوف «Vivisection» الصادر في سنة 1893.

122 أسماء بعض كلاب بافلوف واردة في «Pavlov's Dogs» .Tim Tully

(Current Biology 13. no. 4: R117-19). وفي صفحة على شبكة الإنترنت منسوبة لـمعمل Cold Spring Harbor Laboratory.

123 «عندما أقوم بتشريح حيوان حي وتدميره»: Babkin. *Pavlov*. p. 162.

123 تفاصيل حياة بافلوف مستقاة من سيرة ذاتية موجزة خطها زميله ومترجمه و. هورسلي جانت في Pavlov. *Lectures on Conditioned Reflexes*. pp. 11-31; *Pavlov*. pp. 5-23 وكذا في Todes. *Ivan Pavlov*. pp. 11-43.

123 بافلوف والمكتبة: Todes. *Ivan Pavlov*. p. 19.

124 «إن جميع خصائص»: Sechenov. *Reflexes of the Brain*. p. 4.

125 «مصنع كيميائي معقد»: Todes. *Ivan Pavlov*. p. 59.

125 تجارب بافلوف المتعلقة بالهضم: Todes. Ivan Pavlov. pp. 53-65. وكذا في *Pavlov*. pp. 224-30 وفي Gray. *Ivan Pavlov*. pp. 20-25.

126 «كل نظام مادي»: Pavlov. *Conditioned Reflexes*. lecture 1. p. 8.

127 الشرف الذي كاد أن يحرم منه: للاطلاع على عرض مدهش للسياسات وراء جائزة نوبل، انظر *Pavlov's Physiology Factory*. pp. 332-45.

127 «من الواضح أننا»: *Pavlov*. p. 229.

127 روايات بافلوف الخاصة لتجارب إفراز اللعاب يمكن العثور عليها في كتابيه *Conditioned Reflexes* و*Lectures on Conditioned Reflexes*، المجلد الأول. وثمة مصادر ثانوية جيدة مثل Gray. *Ivan Pavlov*. pp. 26-51، و Todes. *Ivan Pavlov*. pp. 71-79.

127 «اقتنع بعبثية جهوده»: *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 71.

128 «أي أدوات نمتلك»: *Pavlov*. p. 277.

128 «ألا يتكوّن الأسى الأبدي»: *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 50.

128 «لكن عالم وظائف الأعضاء في عصرنا»: المصدر نفسه، ص 121.

129 «إن الذرات نفسها»: James. *The Principles of Psychology*. p. 146.

129 «وكما شكلت الذرات المادية: المصدر نفسه، ص 150.

129 «الروح للجسم»: المصدر نفسه، ص 131.

130 يصف بنجامين ليبيت تجاربه على الإرادة الحرة في *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness* (Cambridge. Mass.: Harvard University Press. 2004).

130 «إذا ما أحطنا علماً»: *Principles of Psychology*. pp. 132-33.

131 «يجب ألا يضع عالم الطبيعة»: *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 82.

132 إسالة لعابه استجابة لضوء مصباح، تأخر المثير ثلاث دقائق: المصدر نفسه، ص 149، 186-87.

132 سيظل لعابه يسيل بطريقة آلية كل نصف ساعة: *Conditioned Reflexes*. المحاضرة الثالثة، ص 41.

132 «إنني مقتنع»: *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 233.

132 للتمييز بين جسم يدور في اتجاه عقارب الساعة، إلخ: *Conditioned Reflexes*. المحاضرة السابعة، ص 117-30. والمحاضرة الثالثة عشرة، ص 222؛ *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 140.

133 «Footfalls of a passer-by»: *Conditioned Reflexes*. lecture 2. p. 20.

133 «برج الصمت»: *Lectures on Conditioned Reflexes*. pp. 144-46; Frolov. *Pavlov and His School*. pp. 60-62; and Todes. *Ivan Pavlov*. pp. 77-78.

133 «الغواصة المتأهبة لخوض المعركة»: *Pavlov and His School*. p. 61. يصف بافلوف التجربة على سلمين أحدهما تصاعدي والآخر تنازلي في *Lectures on Conditioned Reflexes*. p. 141 (كانت النغمات الموسيقية D وE وF عالية وG عالية).

134 «إن حركة النباتات»: المصدر نفسه، ص 59.

134 المنعكسات الشرطية: تزعم تودوس وآخرون إن هذه ترجمة أفضل لاصطلاح بافلوف *uslovnyi reflex* بالمقارنة بالاصطلاح الأكثر شيوعاً «المنعكس المشروط». انظر *Pavlov›s Physiology Factory*. pp. 244-46.

135 واقتفى أثرَ نسخة: وصف تيم تالي بحثه في «Pavlov›s Dogs» (*Current Biology* 13. no. 4: R118).

136 «ذبابات بافلوف»: من منشور صحافي لمعمل Cold Spring Harbor. 17 فبراير 2003، متاح على موقع المعمل على شبكة الإنترنت.

137 «فليقدم الكلب رفيق الإنسان»: Todes. *Ivan Pavlov*. p. 100.

10- روبرت ميليكان: في المنطقة الفاصلة

Goodstein. Judith R. *Millikan's School: A History of the California Institute of Technology*. New York: Norton. 1991.

Holton. Gerald James. *The Scientific Imagination: Case Studies*. New York: Cambridge University Press. 1978.

Millikan. Robert Andrews. *Autobiography*. London: Macdonald. 1951.

———. *The Electron: Its Isolation and Measurement and the Determination of Some of Its Properties*. Chicago: University of Chicago Press. 1924.

———. *Evolution in Science and Religion*. New Haven: Yale University Press. 1927.

———. *Science and Life*. Boston: Pilgrim. 1924.

Thomson. Joseph John. *Recollections and Reflections*. New York: Macmillan. 1937.

Weinberg. Steven. *The Discovery of Subatomic Particles*. New York: Freeman. 1990.

138 العبارة المقتبسة: William Crookes. «On Radiant Matter II.» *Nature* 20 (September 4. 1879): 439-40.

140 أخطاء ميليكان في تذكر الحوار الذي جرى عشية عيد الميلاد: فقد قال إنه استمع إلى محاضرة رونتجن في *Evolution in Science and Religion*. pp. 10-11. والتاريخ الفعلي للقاء كان 4 يناير 1896. (والواقع أن رونتجن ألقى كلمة أخرى في ديسمبر 1895 في فورتزبرج). ترد المحاضرة التي كثيراً ما يستشهد بها لمايكلسون في *Autobiography*. pp. 39-40.

140 هرتز عن موجات الراديو والضوء: «On Electric Radiation» *Annalen der Physik* 36 (1889): 769; in *A Source Book in Physics*. pp. 549-61.

141 «لم نقترب بالقدر الكافي»: *Autobiography*. p. 11.

141 يرد تاريخ تجارب أنبوب التفريغ في فاينبرغ، *The Discovery of Subatomic Particles*. pp. 20-25. 102-5.

141 يرد وصف عمل كروكس في ورقتين موضحتين برسوم جميلة في المجلد العشرين من *Nature*: «On Radiant Matter» (August 28. 1879): 419-23، وفي «On Radiant Matter II» (September 4. 1879): 436-40. أعيد طبع العملين في David M. Knight. *Classical Scientific Papers: Chemistry. Second Series. Papers on the Nature and Arrangement of the Chemical Elements* (New York: American Elsevier. 1970). pp 89-98.

143 «تلك حالة جديدة من حالات المادة»: «Radiant Matter II.» 439. استعار كروكس الاصطلاح من فاراداي.

143 الأشعة الثقبة لرونتجن: «On a New Kind of Rays.» translated

ثمة ترجمة مختلفة .by Arthur Stanton. *Nature* 53 (1896): 274-76 مقتبسة في *A Source Book in Physics*. pp. 600-10 (وردت في ملاحظاتي في الفصل الثالث).

143 تجربة اليورانيوم لبيكيريل: «On the Rays Emitted by Phosphorescence.» *Comptes Rendus* 122 (1896): 420-21. 501-3; in *A Source Book in Physics*. pp. 610-13.

143 وصف ج. ج. طومسون تجاربه في «Cathode Rays.» *Philosophical Magazine* 44. no. 293 (1897): 293-316. يظهر فاكس في Stephen Wright. *Classical Scientific Papers: Physics* (New York: American Elsevier. 1964). ويحلل فاينبرغ التجربة في *Discovery of Subatomic Particles*. pp. 12-71.

143 الإلكترونات: استخدم الاسم لأول مرة الفيزيائي الأيرلندي جورج جونستون ستوني في ««Of the Election or Atom of Electricity.»» *Philosophical Magazine* 38. (1894). P. 418.

144 جهاز طومسون الخاص بي الذي صنعه لايبولد يشمل أيضاً شبكة تركيز أو Wehnelt (سميت تيمناً بالفيزيائي الألماني الذي اخترعها).

146 2.5×10^8 كولوم من الشحنات لكل جرام: صيغة نسبة الشحنة إلى الكتلة هي v/Br حيث v سرعة الإلكترونات، بينما B قوة المجال المغناطيسي، وr نصف قطر الشعاع المنحني. واتضح أن هذه الصيغة تكافئ

$$\frac{2V(5/4)^3a^2}{(N\mu_0Ir)^2}$$

a = نصف قطر الملفات

N = عدد لفات السلك في الملفات

V = الجهد (الفلطية) المتسارع على المصعد

I = أمبيرات التيار المار في الملفات

R = نصف قطر الحزمة

μ0 رقم يعرف باسم ثابت النفاذية ($4\pi \times 10^{-7}$). وهي عامل تحويل يجعل جميع الوحدات — الفلط والأمبير والكولوم والسنتيمتر والجرام — تتفاعل مع بعضها بعضاً بسلاسة.

146 كمية الكهرباء التي تتدفق كل ثانية عبر مصباح بقوة 100 واط: بالطبع على فرض أن ثمة مصدراً للكهرباء يبلغ 100 فلط.

146 كانت قيمة الإلكترون أكبر 1000 مرة تقريباً: نظر طومسون أيضاً في احتمال أن يكون للإلكترونات كتلة أكبر وشحنة أصغر، لكن ذلك يمكن أن يتعارض مع التجارب التي أجراها فيليب لينارد وتوحي بأن جسيمات أشعة المهبط أخف بكثير من جسيمات الهواء.

146 يشعر وكأنه لم يحقق شيئاً: يروي ميليكان القصة في *Autobiography*. pp. 84-85.

147 تجربة معمل كافينديش التي أجريت على سحابة البخار أجراها هـ. أ. ويلسون، ومثلت تطوراً بالمقارنة بالمحاولات السابقة لطومسون وج. س. إ. تاونسند. وهذه التجارب موجزة في *Autobiography*. pp. 85-87، وكذا في *The Electron*. ص. 45-57. ويحلل فاينبرغ الجهود المبذولة في هذا الصدد في *Discovery of Subatomic Particles*. pp. 91-95. واخترع الجهاز الذي استخدم في هذه التجارب، ويعرف باسم غرفة ويلسون السحابية، الاسكتلندي شارلز ويلسون ريس ويلسون الذي استخدمه لمراقبة مسارات الأشعة الكونية.

147 «ككفن محمد»: *Autobiography*. p. 89 ومن المثير للفضول أن طومسون استخدام التشبيه نفسه قبل أربعة عشر عاماً في مذكراته الخاصة *Recollections and Reflections*. p. 343.

148 تجارب ميليكان على قطرات المياه: *Autobiography*. pp. 89-91. للاطلاع على تحليل، انظر «Subelectrons. Presuppositions and the Millikan-Ehrenhaft Dispute» في هولتون، *The Scientific Imagination*. pp. 42-46.

148 «1. أو 2. أو 3. أو 4. أو مضاعف آخر محدد»: Autobiography. p. 90.
أفصح ميليكان عن النتيجة التي توصل إليها على هيئة 4.65×10^{-10} وحدة الكتروستاتيكية (تعرف أيضاً باسم ستات كولوم) والتي تقدر عند تحويلها بـ 1.55×10^{-19} كولوم.

149 يرد وصف لقاء وينيبيج في The Scientific Imagination. pp. 48-50. وترد ذكريات ميليكان عن رحلة القطار إلى أرض الوطن في Autobiography. pp. 91-92.

149 «لم يتسن حتى الآن»: The Scientific Imagination. p. 50.

149 «رأيت مشهداً من أجمل المشاهد قط»: Harvey Fletcher. «My Work with Millikan on the Oil-Drop Experiment.» *Physics Today* (June 1982): 45.

153 يصف قانون ستوك (الذي سمي تيمناً بالعالم السير جورج ج. ستوكس الذي لمع نجمه في القرن التاسع عشر) كيف تسقط الأجسام الكروية الصغيرة في وسط دبق كالماء أو الهواء. عدَّلَ ميليكان لاحقاً المعادلة بحيث أمكن تطبيقها عن كثب أكثر على أجسام في صغر قطرات الزيت.

154 «الجسيمات دون الإلكترونية»: كان الفيزيائي هو فيلكس إيرينهافت من جامعة فيينا.

154 «لم أكن لأصدق ذلك قط»: روى فلتشر القصة في My Work with Millikan.» p. 46.

154 دوّن ميليكان وفلتشر النتائج: «The Isolation of an Ion. a Precision Measurement of Its Charge. and the Correction of Stokes›s Law.» *Science* 30 (September 1910): 436-48.

154 «منخفض جداً ... هناك خطب ما»: *The Scientific Imagination*. pp. 70-71 و In Defense of Robert Andrews Millikan.» *Engineering and Science* 63. no. 4 (2000): 34-35.

155 «كل من رأى هذه التجربة»: *Autobiography*. pp. 96-98.

155 $10^{-19} \times 1.5924$ كولوم: أو $10^{-10} \times 4.774$ ستات كولوم.

155 روى فلتشر هذه القصة في «My Work with Millikan».

155 سلوك ميليكان المتعالي: انظر على سبيل المثال *Autobiography*. p. 70.

يضرب ديفيد جودشتاين أمثلة أخرى في *Autobiography*. p. 70.

156 ثمة وصف للجدل الذي دار حول بيانات ميليكان في المقالات التي كتبها هولتون وجودشتاين.

شكر وتقدير

لا أدري كيف كان لهذا الكتاب أن يؤلَّف دون العدد الكبير جدّاً من المكتبات الجيدة الموجودة من حولي، وأولاها مكتبة ميم (Meem) الرائعة التي صممها المهندس المعماري الجنوبي الغربي جون جو ميم (John Gaw Meem) بكلية سانت جون وتعجُّ بأمات الكتب في تاريخ العلوم بداية من «المجسطي» (*Almagest*) لبطليموس وانتهاء بـ«الإلكترون» *The Electron* لميليكان. ولقد وجدت فعلاً صورة طبق الأصل من ملاحظات ألبرت مايكلسون التي دوَّنها بخط يده والمأخوذة من قياساته لسرعة الضوء في سنة 1878. وتشترك مع هذه المكتبة في الروعة مكتبةُ سانتا فيه العامة بوسط المدينة (قاعة القراءة فيها هي الأخرى تحفة معمارية)، حيث ساعدني أمناء المكتبة المسؤولون عن المراجع في استعارة العديد من المراجع بنظام الإعارة بين المكتبات. وكان أبعد مكان عن سانتا فيه اضطررت إلى الذهاب إليه هو جامعة نيو مكسيكو في ألبوكيركي التي ما زالت الدوريات المجلدة القديمة فيها محفوظة على أرفف مفتوحة ولم تُرحَّل إلى سجن الميكروفيلم.

لقد كانت حماسة رئيس كلية سانت جون، جون بالكوم (John Balkcom)، مصدر إلهام لي في مرحلة مبكرة. كما أنني أشكر هانز فون بريسين، المدير السابق لمعمل الكلية، الذي أطلعني لأول مرة على تجارب طومسون وميليكان، وأشكر أعضاء هيئة التدريس وليم دانهيو (William Donahue) وبيتر بيسيك (Peter Pesic) ونيد والبين (Ned Walpin) الذين أدلوا بتعليقات ثاقبة على المخطوطة. وأدين بالشكر لأوين جنجريتش (Owen Gingerich) وجيرالد هولتون (Gerald Holton) بجامعة هارفارد وجون هايلبرون (John Heilbron) بجامعة كاليفورنيا في بيركلي على ما أسدوه من نصح. كما قدَّم لي دانييل تودز (Daniel Todes) بجامعة جون هوبكنز الكثير من الملاحظات المفيدة بشأن بافلوف، وكذلك فعل رولد هوفمان (Roald Hoffmann) بجامعة كورنيل بشأن لافوازييه.

وكالمعتاد أتوجه بالشكر إلى أصدقائي الذين تطوعوا بقراءة المخطوطة وهم: باتريك كوفي (Patrick Coffey) ولويزا جيلدر (Louisa Gilder) وبوني لي لا مادلين (Bonnie Lee La Madeleine) وديفيد بادوا (David Padwa) وأورسولا بافليش (Ursula Pavlish). كما أجبرتني قراءة كورماك مكارثي (Cormac McCarthy) الممحِّصة على محو الفاصلات المنقوطة والفاصلات عديمة الجدوى (التي انسلَّ بعضها عائداً إلى الكتاب). وفي المرحلة النهائية، أُدخلت على الكتاب تحسينات كبيرة بفضل تمحيص مارا

فاتس (Mara Vatz) الدقيق ومعرفتها الواسعة وسلامة حكمها، وبفضل مقدرة أليسون كِنت (Alison Kent) الفنِّية.

هذا هو الكتاب السادس الذي أسعدني الحظ بالعمل فيه مع جون سيجال (Jon Segal) بدار ألفريد نوف للنش ، والثالث مع ويل سولكين بدار جوناثان كيب أند بودلي هيد للنشر (Jonathan Cape and Bodley Head)، وكان لما قدماه لي من مشورة وتشجيع قيمة عظيمة، وكذلك كانت مشورة وتشجيع وكيلة أعمالي إستر نيوبرج (Esther Newberg) التي وقفت بجانبي من البداية. ومن دار نوف للنشر، أود أن أشكر أيضاً مساعد التحرير كايل مكارثي (Kyle McCarthy) والمصممة فيرجينيا (Virginia Tan) تان وكبيرة المدققين ليديا بويتشلر (Lydia Buechler) ومحررة الإنتاج كاثلين فريديلا (Kathleen Fridella) على مهارتهم وصبرهم في تحويل مخطوطة إلى كتاب.

أجمل عشر تجارب على الإطلاق

يستعرض كاتب العلوم الشهير بصحيفة "نيويورك تايمز" جورج جونسون في هذا الكتاب أجمل عشر تجارب في تاريخ العلوم، تركز كل واحدة منها على تجربة مهمة زادت الإنسانية معرفة بطريقة عمل الطبيعة، ويعترف المؤلف صراحةً بأنه كان من الممكن تضمين الكتاب تجارب أخرى، لكنه يرى أن هذه التجارب العشر هي الأبرز من بين كل ما سواها، ولا يقتصر الكتاب على وصف التجارب وتوضيحها بالكثير من الرسوم، بل يتضمن أيضاً سيرة ذاتية موجزة للعلماء أنفسهم ويورد لقطات للعصور التي عاشوا فيها، وتلك اللحظات النادرة التي طرحت فيها نفسٌ مُحبَّة للاستطلاع سؤالاً وجيهاً على الطبيعة وتلقت إجابة واضحة لا لبس فيها ولا غموض.

المعارف العامة
الفلسفة وعلم النفس
الديانات
العلوم الاجتماعية
اللغات
العلوم الطبيعية والدقيقة / التطبيقية
الفنون والألعاب الرياضية
الأدب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة
أطفال و ناشئة

9 789948 173144

هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

كلمة
KALIMA